

Sularso  
Haruo Tahara

# Pompa & Kompresor

Pemilihan,  
Pemakaian dan  
Pemeliharaan





# **POMPA DAN KOMPRESOR**

**UNDANG-UNDANG NOMOR 7 TAHUN 1987**

**Tentang  
Hak Cipta**

**pasal 44**

- (1) Barangsiapa dengan sengaja dan tanpa hak mengumumkan atau memperbanyak suatu ciptaan atau memberi izin untuk itu, dipidana dengan pidana penjara paling lama 7 (tujuh) tahun dan / atau denda paling banyak Rp 100.000.000,00 (seratus juta rupiah).
- (2) Barangsiapa dengan sengaja menyiarkan, memamerkan, mengedarkan, atau menjual kepada umum suatu ciptaan atau barang hasil pelanggaran Hak Cipta sebagai mana dimaksud dalam ayat (1), dipidana dengan pidana penjara paling lama 5 (lima) tahun dan/atau denda paling banyak Rp 50.000.000,00 ( limapuluh juta rupiah).

## Pemilihan, Pemakaian dan Pemeliharaan

SECRET

**Ir. SULARSO, MSME**  
*Lektor Kepala, Jurusan Mesin*  
*Institut Teknologi Bandung*

**Cetakan Ketujuh**





**Sularso**

Pompa dan kompresor: pemilihan, pemakaian  
dan pemeliharaan/oleh Sularso, Haruo Tahara.

— Cet. 7. — Jakarta : Pradnya Paramita, 2000.

x, 291 hal. ; ilus; 26 cm.

ISBN 979 — 408 — 090 — X.

I. Pompa dan kompresor. I. Judul.  
II. Tahara, Haruo III. Association for  
International Technical Promotion (Japan)

621.69

**MILIK**

Badan Perpustakaan  
Propinsi Jawa Timur

279.796/BPP/P/03

PROYEK. T.A. 2003

**POMPA DAN KOMPRESOR**  
**Pemilihan, Pemakaian dan Pemeliharaan**

Judul asli : Pumps and Compressors

Oleh : Ir. Sularso, MSME

Prof. Dr. Haruo Tahara

© Hak Cipta dilindungi oleh undang-undang

Diterbitkan oleh : PT Pradnya Paramita  
Jalan Bunga 8 - 8A  
Jakarta 13140

Cetakan Ketujuh : Tahun 2000

Dicetak oleh : PT Pertja

## KATA PENGANTAR

Dalam kehidupan moderen seperti sekarang ini pompa maupun kompresor mempunyai ~~penggunaan~~ yang sangat luas di hampir segala bidang kegiatan: industri, pertanian, rumah ~~tinggal~~ ~~dan~~ Jenis dan ukurannyapun beraneka ragam sesuai dengan pemakaiannya. Dapat di ~~mengerti~~ bahwa untuk menangani mesin-mesin ini diperlukan pengetahuan yang memadai dan ~~apakah~~ ~~terutama~~ terutama dalam cara-cara pemilihan, pemasangan, pemakaian, dan pemeliharaan. Maka berdasarkan pemikiran itulah buku ini disajikan kepada masyarakat ~~Indonesia~~ di Indonesia.

Penulisan buku ini dilakukan oleh suatu kelompok pengarang yang mempunyai ~~profesi~~ dalam bidang pendidikan tinggi maupun bidang industri. Adapun tujuannya terutama ~~adalah~~ untuk memberikan pengetahuan praktis kepada para tenaga teknik yang bergerak dalam ~~perencanaan~~ instalasi maupun kepada mereka yang bertugas dalam bidang operasi dan pemeliharaan.

Buku ini juga diharapkan dapat memberi sumbangan bagi pendidikan teknik di Indonesia, ~~baik~~ di sekolah kejuruan tingkat atas maupun di perguruan tinggi tingkat sarjana muda. Adapun isinya ditekankan pada pengetahuan terapan. Hal ini dimaksud agar kekurangan akan ~~literatur~~ yang bersifat praktis dalam bahasa Indonesia dapat diimbangi. Karena itu teori yang bersifat mendasar tidak dibahas.

Dalam buku ini pompa yang dibahas dibatasi pada pompa jenis turbo, sedangkan kompresor dibatasi pada jenis torak dan putar. Adapun dasar pertimbangannya ialah karena ~~jenis-jenis~~ tersebut adalah yang paling banyak terdapat dalam pemakaian di Indonesia pada saat ini. Namun demikian azas-azas yang diberikan di sini akan dapat pula diterapkan pada penanganan masalah pompa dan kompresor pada umumnya.

Akhirnya penulis ingin mengucapkan penghargaan yang sebesar-besarnya kepada The Association for International Technical Promotion, Jepang, di bawah pimpinan Prof. Dr. Seiji Kaya sebagai Ketua dan Tn. Koichi Fukui sebagai Sekretaris Jenderal, yang telah menunjang penerbitan buku ini dengan segala biaya, fasilitas dan tenaga.

Bandung, Indonesia dan

Tokyo, Jepang

1983

Atas nama para penulis

  
SULARSO

  
HARUO TAHARA

## PARA KONTRIBUTOR DALAM PENULISAN KONSEP BUKU INI

- Dr. Iwao Ohtani  
Board Director, General manager,  
Pneumatic Products Division, Tokico Ltd.
- Mr. Takeo Yamamoto  
Assistant Chief Engineer,  
Hitachi Sanki Engineering Co., Ltd.
- Dr. Yutaka Shinji  
Vice Manager, Compressor Department, Sagami Works,  
Tokico Ltd.
- Mr. Masamichi Kondo  
Pump Designing Department, Tsuchiura Works,  
Hitachi Ltd.
- Mr. Tadao Tateshita  
General Manager, Narashino Works,  
Hitachi Sanki Engineering Co., Ltd.



# DAFTAR ISI

## BAGIAN I. POMPA

### 1. Azas pompa ✓

1.1	Kerja pompa sentrifugal .....	3
1.1.1	Head zat cair .....	3
1.1.2	Kerja pompa sentrifugal .....	4
1.2	Hukum kesebangunan .....	4
1.3	Kecepatan spesifik (nomor jenis) dan klasifikasi .....	5
1.3.1	Kecepatan spesifik .....	5
1.3.2	Putaran spesifik dan bentuk impeler .....	6
1.3.3	Klasifikasi pompa .....	7
1.4	Performansi .....	9
1.5	Kavitasi .....	9
1.6	Momen awal .....	11

### 2. Spesifikasi ✓

2.1	Spesifikasi pompa .....	13
2.2	Kapasitas aliran .....	14
2.2.1	Keperluan laju aliran untuk berbagai pemakaian .....	14
2.2.2	Jumlah pompa .....	22
2.3	Sifat-sifat zat cair .....	25
2.3.1	Sifat-sifat air .....	25
2.3.2	Sifat-sifat zat selain air .....	25
2.4	Head .....	26
2.4.1	Head total pompa .....	26
2.4.2	Head kerugian .....	28
2.4.3	Contoh .....	42
2.5	Head Isap Positif Neto atau NPSH .....	43
2.5.1	NPSH yang tersedia .....	44
2.5.2	NPSH yang diperlukan .....	45
2.5.3	NPSH dan performansi pompa .....	47
2.5.4	Berbagai pengaruh pada NPSH yang diperlukan .....	48
2.5.5	Pencegahan kavitasi .....	49
2.6	Penentuan putaran dan jenis pompa .....	49
2.6.1	Proses pemilihan putaran dan jenis pompa .....	49
2.6.2	Diagram pemilihan pompa standar .....	51

2.7	Daya poros dan efisiensi pompa .....	52
2.7.1	Daya air .....	52
2.7.2	Daya poros .....	53
2.8	Koreksi performansi untuk zat cair kental .....	53
2.9	Pemilihan bahan .....	56
2.9.1	Bahan-bahan dari bagian-bagian utama pompa umum .....	56
2.9.2	Data yang diperlukan untuk pemilihan .....	58
2.10	Pemilihan penggerak mula .....	58
2.10.1	Daya nominal penggerak mula .....	58
2.10.2	Motor listrik dan motor torak .....	58
2.10.3	Roda gigi pengubah putaran .....	59

### 3. Pemakaian

3.1	Perencanaan instalasi pompa .....	61
3.1.1	Tata letak pompa .....	61
3.1.2	Pemipaan .....	61
3.1.3	Katup .....	65
3.1.4	Tadah isap dan tadah keluar .....	66
3.1.5	Tangki tekan .....	68
3.2	Contoh-contoh pelayanan pompa .....	68
3.2.1	Air minum .....	68
3.2.2	Pengairan .....	69
3.2.3	Industri kimia dan industri minyak .....	70
3.2.4	Industri lain .....	70
3.2.5	Pompa drainase .....	71
3.2.6	Pelayanan pusat tenaga .....	71
3.2.7	Pelayanan gedung .....	73

### 4. Konstruksi pompa

4.1	Klasifikasi menurut jenis impeler .....	75
4.2	Klasifikasi menurut bentuk rumah .....	76
4.3	Klasifikasi menurut jumlah tingkat .....	77
4.4	Klasifikasi menurut letak poros .....	78
4.5	Klasifikasi menurut belahan rumah .....	79
4.6	Klasifikasi menurut sisi masuk impeler .....	79
4.7	Pompa jenis tumpuan sumbu .....	81
4.8	Pompa jenis khusus .....	81
4.9	Alat pengimbang gaya aksial .....	87

### 5. Operasi

5.1	Kurva head kapasitas pompa dan sistem .....	91
5.2	Operasi paralel dan operasi seri .....	93
5.3	Pengaturan kapasitas .....	95
5.3.1	Cara pengaturan .....	95

5.3.2	Modifikasi pompa .....	98
5.4	Prosedur menjalankan dan menghentikan .....	99
5.5	Benturan air (water hammer) .....	99
5.5.1	Gejala benturan air .....	99
5.5.2	Kerusakan dan pencegahan benturan air .....	102
5.6	Surjing (surging) .....	104
5.6.1	Gejala surjing .....	104
5.6.2	Pencegahan surjing .....	105
5.7	Fluktuasi tekanan .....	106
5.7.1	Gejala fluktuasi tekanan .....	106
5.7.2	Pencegahan fluktuasi tekanan .....	107
5.8	Operasi otomatis .....	108

## 6. Pemasangan ✓

6.1	Pemasangan pompa mendatar .....	109
6.1.1	Penempatan pompa .....	109
6.1.2	Pondasi .....	110
6.1.3	Urutan pemasangan .....	111
6.1.4	Pemeriksaan kelurusan .....	112
6.2	Pompa tegak .....	113
6.3	Pompa sumur dalam dengan motor benam .....	115
6.4	Pemipaan .....	119
6.4.1	Pipa isap .....	120
6.4.2	Pipa keluar .....	122
6.4.3	Sambungan dan tumpuan pipa .....	123
6.4.4	Cara memancing dengan tangki penyediaan air .....	126
6.5	Pencegahan getaran dan bunyi .....	126
6.5.1	Penyebab getaran dan bunyi .....	126
6.5.2	Pencegahan getaran dan bunyi karena pompa dan katup .....	127
6.5.3	Cara mencegah rambatan getaran dan bunyi .....	127

## 7. Pemeliharaan /

7.1	Pemeriksaan pendahuluan dan cara menjalankan pompa .....	129
7.2	Pemeriksaan kondisi operasi .....	130
7.3	Pengamanan untuk penghentian pompa .....	132
7.4	Penanganan pompa cadangan .....	133
7.5	Penanganan pompa yang tak dipakai dalam jangka waktu lama .....	133
7.6	Pengelolaan .....	133
7.6.1	Kartu kendali .....	133
7.6.2	Butir dan jangka waktu pemeriksaan .....	133
7.6.3	Log operasi .....	135
7.6.4	Penyediaan suku cadang .....	136
7.7	Overhaul .....	137
7.7.1	Pompa sentrifugal isapan ujung .....	137
7.7.2	Pompa sentrifugal bertingkat banyak .....	144



## 8. Mengatasi gangguan ✓

8.1 Gangguan umum dan mengatasinya .....	155
8.2 Gangguan dan cara perbaikan pompa benam .....	162

## BAGIAN II. KOMPRESOR

### 1. Azas kerja dan klasifikasi kompresor ✓

1.1 Azas pemampatan zat .....	167
1.2 Azas kompresor .....	169
1.3 Klasifikasi kompresor .....	172

### 2. Dasar-dasar kompresi gas dan klasifikasi kompresor ✓

2.1 Sifat-sifat fisik udara .....	175
2.1.1 Susunan udara .....	175
2.1.2 Berat jenis udara .....	175
2.1.3 Panas jenis udara .....	176
2.1.4 Kelembaban udara .....	177
2.1.5 Tekanan udara .....	179
2.2 Teori kompresi .....	181
2.2.1 Hubungan antara tekanan dan volume .....	181
2.2.2 Hubungan antara temperatur dan volume .....	181
2.2.3 Persamaan keadaan .....	182
2.3 Proses kompresi gas .....	183
2.3.1 Cara kompresi .....	183
2.3.2 Perubahan temperatur .....	185
2.4 Efisiensi volumetrik dan adiabatik .....	187
2.4.1 Efisiensi volumetrik .....	187
2.4.2 Efisiensi adiabatik keseluruhan .....	189
2.5 Perhitungan daya kompresor .....	192
2.6 Jenis penggerak dan transmisi daya poros .....	192
2.6.1 Motor listrik .....	192
2.6.2 Cara start motor .....	193
2.6.3 Motor bakar torak .....	193
2.6.4 Transmisi daya poros .....	193
2.7 Penentuan spesifikasi kompresor .....	194
2.7.1 Persyaratan dalam pembelian kompresor .....	194
2.7.2 Kapasitas .....	195
2.7.3 Tekanan .....	195
2.7.4 Performansi .....	195
2.8 Pemilihan bahan .....	196

2.8.1	Bahan untuk bagian-bagian yang bersinggungan dengan gas .....	196
2.8.2	Bahan untuk pipa pendingin .....	197

### 3. Udara tekan dan pemakaiannya

3.1	Pemakaian .....	199
3.2	Pemakaian dan pemilihan kompresor .....	199

### 4. Konstruksi kompresor

4.1	Konstruksi kompresor torak .....	207
4.1.1	Silinder dan kepala silinder .....	209
4.1.2	Torak dan cincin torak .....	210
4.1.3	Katup .....	211
4.1.4	Poros engkol dan batang penggerak .....	212
4.1.5	Kotak engkol .....	213
4.1.6	Alat pengatur kapasitas .....	213
4.1.7	Pelumasan .....	215
4.1.8	Peralatan pembantu .....	217
4.2	Konstruksi kompresor sekrup .....	219
4.2.1	Kompresor sekrup jenis injeksi minyak .....	220
4.2.2	Kompresor sekrup jenis bebas minyak .....	226
4.3	Konstruksi kompresor sudu luncur .....	226
4.4	Konstruksi blower jenis roots .....	229
4.5	Peralatan pembantu .....	230
4.5.1	Peredam bunyi .....	230
4.5.2	Pendingin akhir .....	231
4.5.3	Pengering .....	232
4.5.4	Menara pendingin .....	233

### 5. Pemasangan dan operasi

5.1	Penempatan .....	235
5.1.1	Pemilihan tempat .....	235
5.1.2	Kondisi pengisapan .....	236
5.2	Instalasi dan pemipaan .....	236
5.2.1	Pondasi .....	236
5.2.2	Pemasangan .....	240
5.2.3	Pemipaan .....	244
5.2.4	Kabel listrik .....	249
5.3	Pengujian lapangan .....	252
5.3.1	Pemeriksaan sebelum uji coba .....	252
5.3.2	Uji coba .....	252
5.4	Operasi harian .....	253
5.5	Kompresor tak dipakai untuk jangka waktu lama .....	253

## 6. Pemeriksaan dan pemeliharaan

6.1	Pemeriksaan harian .....	256
6.2	Pemeriksaan rutin .....	256
6.3	Prosedur pemeriksaan .....	256
6.3.1	Tindakan pengamanan .....	256
6.3.2	Prosedur overhaul .....	256
6.3.3	Prosedur pemeriksaan .....	269
6.3.4	Perakitan kompresor dan prosedurnya .....	269
6.4	Mengatasi gangguan dan tindakan pencegahan dini .....	277
6.4.1	Pedoman umum .....	277
6.4.2	Pencegahan dan perbaikan .....	277

## 7. Gangguan dan mengatasinya

7.1	Pembebanan lebih dan pemanasan lebih pada motor .....	283
7.1.1	Pemilihan motor .....	283
7.1.2	Slip pada sabuk, putaran terbalik, dan efek roda gaya yang tak cukup ..	285
7.1.3	Viskositas minyak pelumas .....	285
7.1.4	Pengisian lebih (supercharging) karena pulsasi tekanan .....	285
7.1.5	Penyumbatan pada saringan isap dan pipa .....	287
7.2	Pemanasan lebih pada udara keluar .....	287
7.2.1	Kondisi lingkungan dalam ruang kompresor .....	287
7.3	Katup pengaman yang sering terbuka .....	287
7.4	Bunyi dan getaran .....	288
7.4.1	Kelonggaran yang berlebihan karena keausan .....	288
7.4.2	Pemasangan dan pelurusan .....	288
7.4.3	Getaran sabuk dan fluktuasi momen puntir .....	289
7.4.4	Getaran pipa .....	289
7.5	Korosi .....	290



## BAGIAN I. POMPA

# 1 | AZAS POMPA

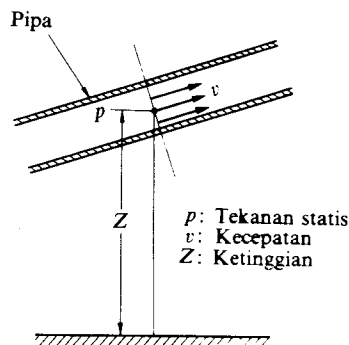
## 1.1 Kerja Pompa Sentrifugal

### 1.1.1 Head Zat Cair

Pandanglah aliran suatu zat cair (atau fluida inkompresibel, misalnya air) melalui suatu penampang saluran seperti diperlihatkan dalam Gb. 1.1. Pada penampang tersebut zat cair mempunyai tekanan statis  $p$  (dalam  $\text{kgf/m}^2$ ), kecepatan rata-rata  $v$  (dalam  $\text{m/s}$ ), dan ketinggian  $Z$  (dalam  $\text{m}$ ) diukur dari bidang referensi. Maka zat cair tersebut pada penampang yang bersangkutan dikatakan mempunyai head total  $H$  (dalam  $\text{m}$ ) yang dapat dinyatakan sebagai

$$H = \frac{p}{\gamma} + \frac{v^2}{2g} + Z \quad (1.1)$$

di mana  $g$  (dalam  $\text{m/s}^2$ ) adalah percepatan gravitasi, dan  $\gamma$  adalah berat zat cair per satuan volume ( $\text{kgf/m}^3$ ).



$$\gamma = \rho \cdot g$$
$$\gamma = \frac{\text{kgf}}{\text{m}^3}$$

Gb. 1.1 Aliran melalui pipa.

Adapun masing-masing suku dari persamaan tersebut di atas, yaitu  $p/\gamma$ ,  $v^2/2g$ , dan  $Z$ , berturut-turut disebut head tekanan, head kecepatan, dan head potensial. Ketiga head ini tidak lain adalah energi mekanik yang dikandung oleh satu satuan berat (1  $\text{kgf}$ ) zat cair yang mengalir pada penampang yang bersangkutan. Satuan energi per satuan berat adalah ekuivalen dengan satuan panjang (atau tinggi). Maka head total  $H$  yang merupakan jumlahan dari head tekanan, head kecepatan, dan head potensial, adalah energi mekanik total per satuan berat zat cair, dan dinyatakan dengan satuan tinggi kolom zat cair dalam meter.

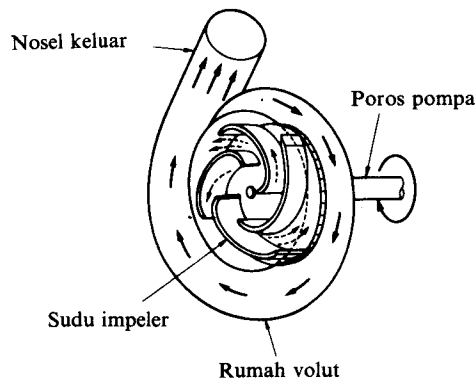
Dalam satuan SI (Le Système International d'Unités), head  $H$  sering kali dinyatakan sebagai energi spesifik  $Y$ , yaitu energi mekanik yang dikandung oleh aliran per satuan masa (1  $\text{kg}$ ) zat cair. Satuan  $Y$  adalah  $\text{J/kg}$ . Dengan satuan ini, energi spesifik tekanan, kecepatan, dan potensial dapat dinyatakan berturut-turut sebagai  $p/\rho$ ,  $v^2/2$ , dan  $gZ$ . Maka persamaan energi spesifik total dapat ditulis sebagai

$$Y = gH = \frac{p}{\rho} + \frac{v^2}{2} + gZ \quad (1.2)$$

di mana  $\rho$  adalah masa zat cair per satuan volume ( $\text{kg/m}^3$ )

### 1.1.2 Kerja Pompa Sentrifugal

Pompa sentrifugal, seperti diperlihatkan dalam Gb. 1.2, mempunyai sebuah impeler (baling-baling) untuk mengangkat zat cair dari tempat yang lebih rendah ke tempat yang lebih tinggi.



Gb. 1.2 Bagan aliran fluida di dalam pompa sentrifugal.

Daya dari luar diberikan kepada poros pompa untuk memutar impeler di dalam zat cair. Maka zat cair yang ada di dalam impeler, oleh dorongan sudu-sudu ikut berputar. Karena timbul gaya sentrifugal maka zat cair mengalir dari tengah impeler ke luar melalui saluran di antara sudu-sudu. Di sini head tekanan zat cair menjadi lebih tinggi. Demikian pula head kecepatannya bertambah besar karena zat cair mengalami percepatan. Zat cair yang keluar dari impeler ditampung oleh saluran berbentuk volut (spiral) di keliling impeler dan disalurkan ke luar pompa melalui nosel. Di dalam nosel ini sebagian head kecepatan aliran diubah menjadi head tekanan.

Jadi impeler pompa berfungsi memberikan kerja kepada zat cair sehingga energi yang dikandungnya menjadi bertambah besar. Selisih energi per satuan berat atau head total zat cair antara flens isap dan flens keluar pompa disebut head total pompa.

Dari uraian di atas jelas bahwa pompa sentrifugal dapat mengubah energi mekanik dalam bentuk kerja poros menjadi energi fluida. Energi inilah yang mengakibatkan pertambahan head tekanan, head kecepatan, dan head potensial pada zat cair yang mengalir secara kontinyu.

## 1.2 Hukum Kesebangunan

Jika ada dua buah pompa sentrifugal (pompa No. 1 dan No. 2) yang geometris sebangun satu dengan yang lain, maka untuk kondisi aliran yang sebangun pula, berlaku hubungan sebagai berikut:

$$\frac{Q_1}{Q_2} = \frac{n_1 D_1^3}{n_2 D_2^3} \quad (1.3)$$



$$\frac{H_1}{H_2} = \frac{n_1^2 D_1^2}{n_2^2 D_2^2} \quad (1.4)$$

$$\frac{P_1}{P_2} = \frac{n_1^3 D_1^5}{n_2^3 D_2^5} \quad (1.5)$$

di mana,  $D$ : Diameter impeler (m)

$Q$ : Kapasitas aliran ( $\text{m}^3/\text{s}$ )

$H$ : Head total pompa (m)

$P$ : Daya poros pompa (kW)

$n$ : Putaran pompa (rpm)

dan indeks 1 dan 2 menyatakan berturut-turut pompa No. 1 dan pompa No. 2.

Hubungan yang dinyatakan di atas disebut “Hukum Kesebangunan Pompa”. Hukum ini sangat penting untuk menaksir perubahan performansi pompa bila putaran diubah. Hukum ini juga berguna untuk memperkirakan performansi pompa yang direncanakan apabila pompa tersebut geometris sebangun dengan pompa yang sudah diketahui performansinya.

### 1.3 Kecepatan Spesifik (Nomor Jenis) Dan Klasifikasi

#### 1.3.1 Kecepatan Spesifik

Jika  $D_1$  dan  $D_2$  dihilangkan dari Pers. (1.3) dan Pers. (1.4) yang menyatakan Hukum Kesebangunan, maka akan diperoleh hubungan berikut ini:

$$n_1 \frac{Q_1^{1/2}}{H_1^{3/4}} = n_2 \frac{Q_2^{1/2}}{H_2^{3/4}} \quad (1.6)$$

Hubungan dalam Pers. (1.6) akan berlaku pada pompa No. 1 dan No. 2 yang geometris sebangun jika aliran di dalam kedua pompa adalah sebangun satu dengan yang lain. Kondisi aliran yang sebangun tersebut terjadi pada kapasitas aliran  $Q_1$  dan  $Q_2$ , head  $H_1$  dan  $H_2$ , serta putaran  $n_1$  dan  $n_2$ , untuk pompa No. 1 dan No. 2.

Berdasarkan Pers. (1.6) tersebut di atas maka orang mendefinisikan  $n_s$  yang dinamakan “kecepatan spesifik” dalam persamaan

$$n_s = n \frac{Q^{1/2}}{H^{3/4}} \quad (1.7)$$

di mana  $n$ ,  $Q$ , dan  $H$  adalah harga-harga pada titik efisiensi maksimum pompa.

Kecepatan spesifik yang didefinisikan dalam persamaan tersebut di atas adalah sama untuk pompa-pompa yang sebangun (atau sama bentuk impelernya), meskipun ukuran dan putarannya berbeda. Dengan lain perkataan, harga  $n_s$  dapat dipakai sebagai parameter untuk menyatakan jenis pompa. Jadi jika  $n_s$  suatu pompa sudah ditentukan maka bentuk impeler pompa tersebut sudah tertentu pula.

Dalam menghitung  $n_s$  untuk pompa sentrifugal jenis isapan ganda (double suction) harus dipakai harga  $Q/2$  sebagai ganti  $Q$  dalam Pers. (1.7) karena kapasitas aliran yang melalui sebelah impeler adalah setengah dari kapasitas aliran keseluruhan. Adapun untuk pompa bertingkat banyak, head  $H$  yang dipakai dalam perhitungan  $n_s$  adalah head per tingkat dari pompa tersebut.

Perlu diperhatikan bahwa  $n_s$  adalah bukan bilangan tak berdimensi. Jadi untuk bentuk impeler yang sama, besarnya angka  $n_s$  dapat berbeda tergantung pada satuan yang dipakai untuk menyatakan  $n$ ,  $Q$  dan  $H$ . Dalam Tabel 1.1 diberikan faktor-faktor

Tabel 1.1 Tabel konversi untuk  $n_s$ .

Satuan yang dipakai				$k$
$n'_s$	$\text{m}^3/\text{s}$ ,	$\text{m}$ ,	$\text{rpm}$	0,129
	$\text{l/s}$ ,	$\text{m}$ ,	$\text{rpm}$	4,08
	$\text{ft}^3/\text{min}$ ,	$\text{ft}$ ,	$\text{rpm}$	2,44
	$\text{ft}^3/\text{s}$ ,	$\text{ft}$ ,	$\text{rpm}$	0,314
	U.S.gpm,	$\text{ft}$ ,	$\text{rpm}$	6,67
	imp.gpm,	$\text{ft}$ ,	$\text{rpm}$	6,09
$K$	$\text{m}^3/\text{s}$ ,	$\text{J/kg}$ ,	$\text{rad/s}$ , (K)	1/410

$$n'_s \text{ atau } K = kn_s \text{ (m}^3/\text{min, n, rpm)}$$

konversi yang harus dipakai untuk mengubah harga  $n_s$  dari satuan yang satu kepada yang lain.

Menurut ISO, sebagai ganti  $n_s$  dipakai "Nomor Jenis"  $K$  yang tak berdimensi dan dapat dinyatakan dalam persamaan:

$$K = 2\pi n \frac{Q^{1/2}}{Y^{3/4}} \quad (1.8)$$

di mana,  $K$ : Nomor jenis

$n$ : Putaran per detik, ( $\text{s}^{-1}$ )

$Q$ : Kapasitas aliran, ( $\text{m}^3/\text{s}$ )

$Y$ : Spesifik energi total, per tingkat untuk pompa sentrifugal, ( $\text{J/kg}$ )

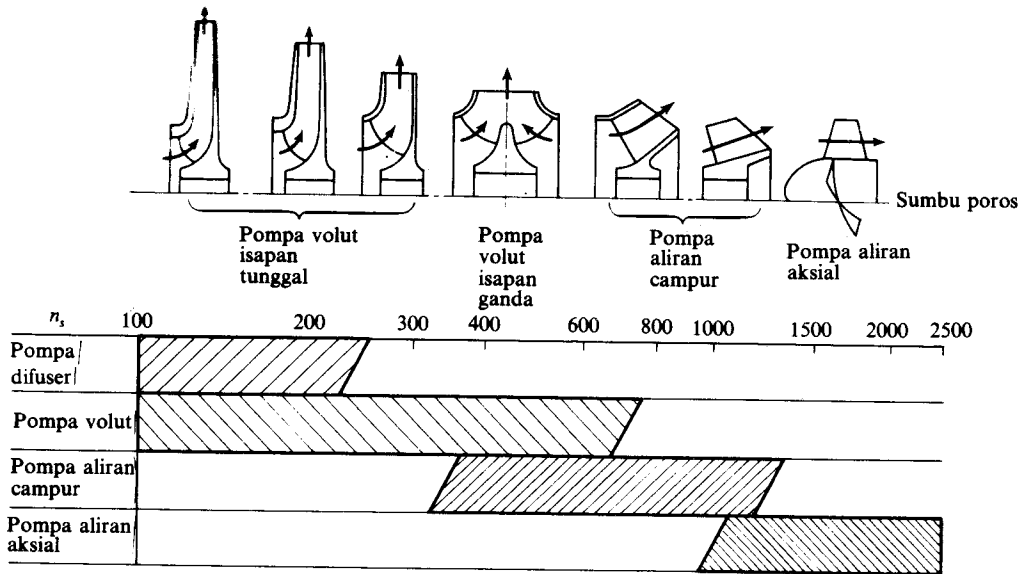
Di dalam Tabel 1.1 juga diberikan faktor konversi antara  $K$  dan  $n_s$ .

### 1.3.2 Putaran Spesifik Dan Bentuk Impeler

Dari pers. (1.7) dapat disimpulkan bahwa pompa dengan head total yang tinggi dan kapasitas aliran yang kecil cenderung mempunyai harga  $n_s$  yang kecil. Sebaliknya dengan head total yang rendah dan kapasitas aliran yang besar, harga  $n_s$  pompa akan menjadi besar. Selanjutnya, apabila kapasitas aliran dan head total tetap sama, harga  $n_s$  akan berubah jika putaran  $n$  berubah. Dalam hal ini  $n_s$  akan bertambah besar jika putaran  $n$  menjadi lebih tinggi.

Gb. 1.3 memperlihatkan harga  $n_s$  dalam hubungannya dengan bentuk impeler yang bersangkutan. Di sini juga diperlihatkan jenis pompa yang sesuai dengan harga  $n_s$  yang ada. Jika harga  $n_s$  kecil, impeler akan berjenis sentrifugal (atau radial). Lebar saluran di dalam impeler akan bertambah besar jika harga  $n_s$  bertambah besar. Bila  $n_s$  bertambah lebih lanjut, maka akan dicapai bentuk aliran campur. Di sini aliran melalui impeler akan mempunyai arah diagonal (menyudut) terhadap sumbu poros. Jika  $n_s$  diperbesar lagi maka aliran akan berarah aksial atau sejajar dengan sumbu poros.

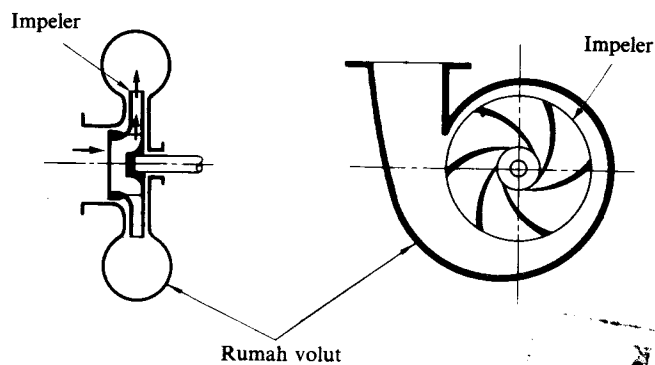
Dari gambar tersebut dapat dimengerti bahwa pada dasarnya bentuk impeler ditentukan oleh harga  $n_s$ -nya. Namun perlu diperhatikan bahwa tidak semua faktor tergantung pada  $n_s$  saja, karena pada beberapa daerah tertentu dua buah pompa dengan jenis yang berbeda dapat dirancang dari harga  $n_s$  yang sama.

Gb. 1.3  $n_s$  dan bentuk impeler.

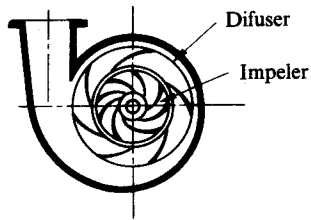
### 1.3.3 Klasifikasi Pompa

Jika kapasitas dinyatakan dalam  $m^3/min$ , head total dalam m, dan putaran dalam rpm, maka harga  $n_s$  pompa sentrifugal akan berkisar antara 100 sampai 700. Pompa sentrifugal dapat digolongkan lebih lanjut atas pompa volut dan pompa difuser. Sebagaimana ditunjukkan dalam Gb. 1.4, aliran yang keluar dari impeler pompa volut ditampung di dalam volut (atau rumah spiral), yang selanjutnya akan menyalurkan ke nosel keluar. Harga  $n_s$  dari pompa volut bervariasi pada daerah yang cukup luas, yaitu antara 100 sampai 700.

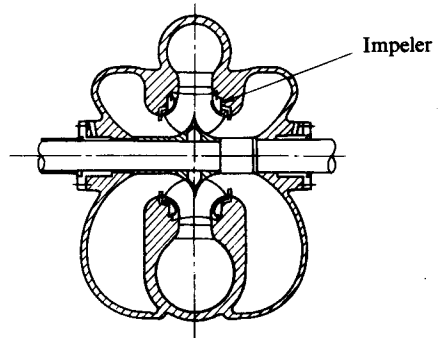
Adapun pompa difuser mempunyai difuser yang dipasang mengelilingi impeler seperti diperlihatkan dalam Gb. 1.5. Guna dari difuser ini adalah untuk menurunkan kecepatan aliran yang keluar dari impeler, sehingga energi kinetik aliran dapat diubah menjadi energi tekanan secara efisien. Pompa difuser dipakai untuk memperoleh head total yang tinggi. Harga  $n_s$  pompa ini berkisar antara 100 sampai 300.



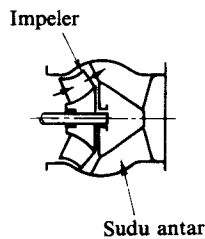
Gb. 1.4 pompa volut.



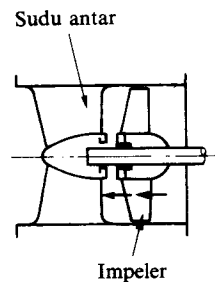
Gb. 1.5 Pompa difuser.



Gb. 1.6 Pompa jenis isapan ganda.



Gb. 1.7 Pompa aliran campur (mixed-flow).

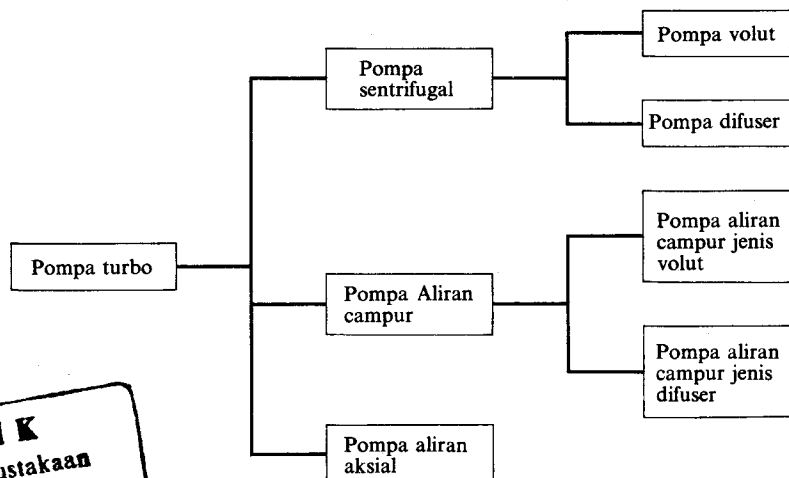


Gb. 1.8 Pompa aliran aksial.

Pompa sentrifugal juga dapat menggunakan dua macam impeler, yaitu jenis isapan tunggal dan isapan ganda (Gb. 1.6). Selain itu pompa sentrifugal juga dapat disusun dengan satu tingkat atau bertingkat banyak. Susunan bertingkat banyak dipakai apabila diinginkan head total pompa yang tinggi.

Untuk head yang sedikit lebih rendah, dapat dipilih pompa aliran campur (Gb.

Tabel 1.2 Klasifikasi pompa turbo.



1.7. Harga  $n_s$  pompa jenis ini berkisar antara 350 sampai 1300. Pompa ini umumnya menggunakan rumah difuser dengan sudu antar seperti terdapat dalam gambar. Jika pompa menggunakan rumah volut untuk menampung langsung aliran yang keluar dari impeler, maka disebut "pompa aliran campur jenis volut".

Pompa jenis aksial dipakai untuk head yang lebih rendah lagi. Aliran di dalam pompa ini mempunyai arah aksial (sejajar poros) seperti diperlihatkan di dalam Gb. 1.8. Untuk mengubah head kecepatan menjadi head tekanan, dipakai sudu antar yang berfungsi sebagai difuser.

Kadang-kadang jenis-jenis pompa tersebut di atas (pompa sentrifugal/radial, pompa aliran campur, dan pompa aksial) disebut pompa turbo. Secara skematis, klasifikasi pompa ini diperlihatkan dalam Tabel 1.2.

## 1.4 Performansi

Bentuk pompa pada umumnya tergantung pada  $n_s$ . Jadi dapat dimengerti bila karakteristiknya juga akan tergantung pada  $n_s$ .

Karakteristik sebuah pompa dapat digambarkan dalam kurva-kurva karakteristik, yang menyatakan besarnya head total pompa, daya poros, dan efisiensi pompa, terhadap kapasitas. Kurva performansi tersebut, pada umumnya digambarkan pada putaran yang tetap.

Gb. 1.9(a) sampai dengan (c) memperlihatkan contoh kurva performansi untuk tiga jenis pompa dengan harga  $n_s$  yang jauh berbeda-beda. Di sini semua besaran kurva karakteristik dinyatakan dalam persen. Titik 100% untuk harga kapasitas, head total pompa, dan daya pompa, diambil pada keadaan efisiensi maksimum.\*

Dari gambar terlihat bahwa kurva head-kapasitas menjadi semakin curam pada pompa dengan harga  $n_s$  yang semakin besar.

Di sini head pada kapasitas nol (shut-off head) semakin tinggi pada  $n_s$  yang semakin besar. Dalam hal pompa aliran aksial, kurva karakteristiknya memperlihatkan kondisi tak stabil pada head total di sekitar 140 sampai 160%.

Kurva daya terhadap kapasitas mempunyai harga minimum bila kapasitas aliran sama dengan nol pada pompa sentrifugal dengan  $n_s$  kecil. Sebaliknya, pada pompa aliran campur dan pompa aliran aksial dengan  $n_s$  besar, harga daya mencapai maksimum pada kapasitas aliran sama dengan nol.

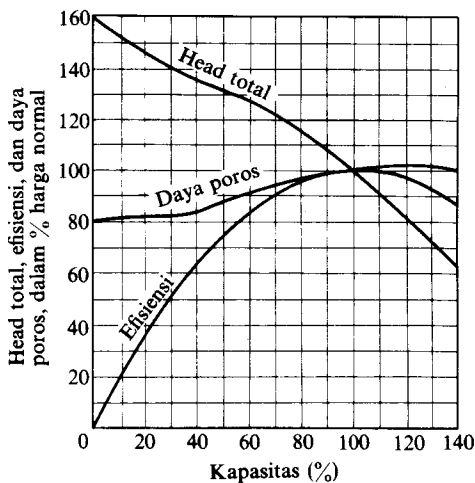
Kurva efisiensi terhadap kapasitas dari pompa sentrifugal umumnya berbentuk mendekati busur lingkaran. Harga efisiensinya hanya sedikit menurun bila kapasitas berubah menjauhi harga optimumnya.

Dalam memilih pompa yang tepat bagi keperluan tertentu, karakteristik pompa seperti diuraikan di atas sangat penting untuk diperhatikan dan dipertimbangkan.

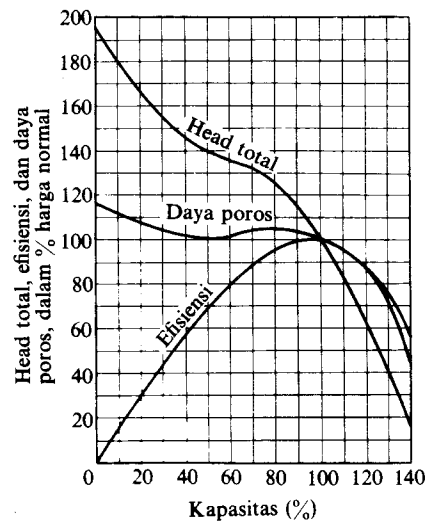
## 1.5 Kavitasi

Kavitasi adalah gejala menguapnya zat cair yang sedang mengalir, karena tekanannya berkurang sampai di bawah tekanan uap jenuhnya. Misalnya, air pada tekanan 1 atmosfer akan mendidih dan menjadi uap jenuh pada temperatur 100°C. Tetapi jika tekanan direndahkan maka air akan mendidih pada temperatur yang lebih rendah. Jika tekanannya cukup rendah maka pada temperatur kamar pun air dapat mendidih.

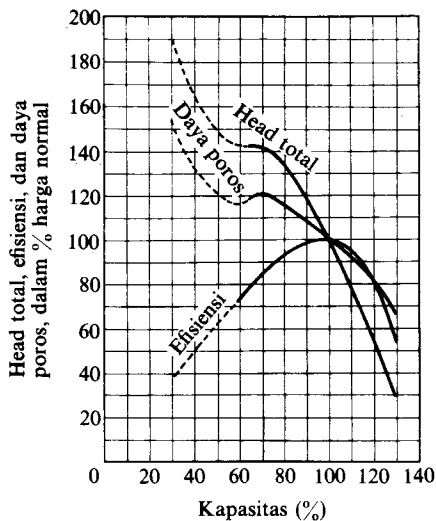
\* Perlu dicatat bahwa harga efisiensi maksimum pompa yang sebenarnya, tidak pernah sama dengan 100%, melainkan selalu lebih kecil dari 100%.



Gb. 1.9 (a) Kurva karakteristik pompa volut.



Gb. 1.9 (b) Kurva karakteristik pompa aliran campuran.



Gb. 1.9 (c) Kurva karakteristik pompa aliran aksial.

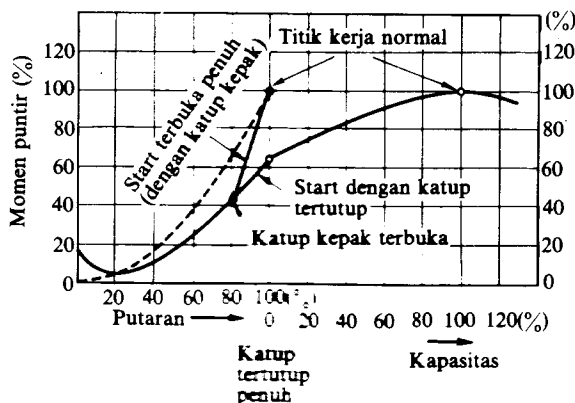
Apabila zat cair mendidih, maka akan timbul gelembung-gelembung uap zat cair. Hal ini dapat terjadi pada zat cair yang sedang mengalir di dalam pompa maupun di dalam pipa. Tempat-tempat yang bertekanan rendah dan/atau yang berkecepatan tinggi di dalam aliran, sangat rawan terhadap terjadinya kavitasi. Pada pompa misalnya, bagian yang mudah mengalami kavitasi adalah pada sisi isapnya. Kavitasi akan timbul bila tekanan isap terlalu rendah.

Jika pompa mengalami kavitasi, maka akan timbul suara berisik dan getaran. Selain itu performansi pompa akan menurun secara tiba-tiba, sehingga pompa tidak dapat bekerja dengan baik. Jika pompa dijalankan dalam keadaan kavitasi secara terus menerus dalam jangka lama, maka permukaan dinding saluran di sekitar aliran yang berkavitasi akan mengalami kerusakan. Permukaan dinding akan termakan sehingga menjadi berlubang-lubang atau bopeng. Peristiwa ini disebut erosi kavitasi, sebagai akibat dari tumbukan gelembung-gelembung uap yang pecah pada dinding secara terus-menerus.

Karena kavitasi sangat merugikan, yaitu mengakibatkan turunnya performansi, timbulnya suara dan getaran, serta rusaknya pompa, maka gejala ini harus dicegah dengan segala cara. Hal ini akan diuraikan lebih lanjut kemudian.

## 1.6 Momen Awal

Pada waktu pompa mulai dijalankan, maka besarnya momen tahanan karena beban zat cair yang terpompa adalah berbanding lurus dengan kuadrat putarannya. Namun untuk dapat mulai berputar dari keadaan berhenti diperlukan momen permulaan yang sedikit lebih besar untuk melawan gesekan statis pada bantalan dan paking.



Gb. 1.10 Kurva momen puntir awal (start) dari pompa sentrifugal.

Keadaan di atas digambarkan dalam Gb. 1.10. Besarnya putaran dinyatakan pada skala absis sebelah kiri diagram untuk menunjukkan hubungan dengan momen pada saat percepatan putaran. Di sebelah kanan diagram, skala absis menyatakan besarnya kapasitas untuk menunjukkan hubungan dengan momen yang terjadi setelah putaran normal tercapai dan zat cair mulai dialirkan dengan membuka katup penutup.

Sebagaimana terlihat dalam diagram, momen mula-mula akan menurun setelah pompa mulai berputar dari keadaan berhenti. Kemudian momen akan naik sebanding dengan kuadrat putarannya, seperti diperlihatkan dengan garis terputus-putus. Namun jika pada sisi keluar dipasang katup sorong dan pompa distart dalam keadaan katup ini tertutup, maka putaran akan mencapai putaran normal dengan momen lawan yang lebih kecil (ditunjukkan dengan garis penuh).

Jika pompa diperlengkapi dengan katup kepak (flap valve) pada sisi keluarnya (untuk mencegah aliran balik), momen akan naik seperti pada start dengan katup tertutup, sampai katup terbuka oleh tekanan pompa. Setelah katup kepak terbuka, zat cair akan mulai mengalir, dan momen akan bertambah sampai mencapai titik operasi normal, seperti diperlihatkan dalam diagram.

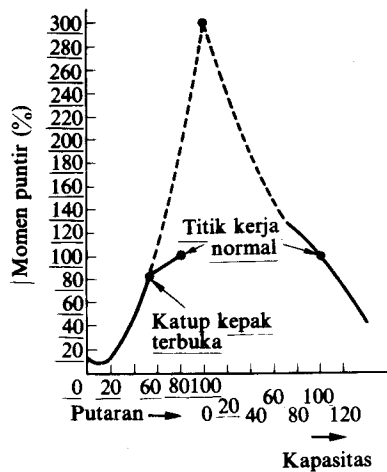
Karena bentuk kurva daya terhadap kapasitas aliran tergantung pada jenis dan  $n_s$  pompa, maka cara start juga harus disesuaikan dengan bentuk kurva tersebut.

Dalam hal pompa sentrifugal, harga minimum pada kurva momen biasanya terjadi pada titik kapasitas aliran sama dengan nol. Dengan demikian, pompa jenis ini dalam banyak hal distart dalam keadaan katup sorong tertutup. Katup dibuka setelah putaran normal tercapai.

Untuk pompa aliran aksial, seperti terlihat dalam Gb. 1.9(c), yang mempunyai daya



besar pada kapasitas aliran yang rendah, cara tersebut seperti diuraikan di atas adalah kurang ekonomis. Jika pompa semacam ini distart dengan katup tertutup maka akan diperlukan daya yang lebih besar dibandingkan dengan yang diperlukan pada kapasitas normalnya. Jadi cara start yang terbaik untuk pompa aksial ialah dengan terlebih dahulu membuka katup sorongnya. Untuk mencegah aliran balik dapat digunakan katup kepak pada sisi keluarnya. Jika pompa distart dengan cara ini, mula-mula momen akan naik sepanjang kurva momen terhadap putaran, seperti halnya pada keadaan katup tertutup (Gb. 1.11). Tekanan keluar juga akan naik hingga melebihi tekanan dari luar yang bekerja pada katup kepak. Dengan demikian katup kepak akan terbuka sebelum putaran normal tercapai. Jadi, seperti diperlihatkan dalam Gb. 1.11, kurva momen terhadap putaran akan menyimpang ke momen pada titik putaran normal. Dengan demikian momen yang berlebihan dapat dicegah dan daya motor penggerak yang diperlukan dapat dikurangi menjadi sebesar daya yang diperlukan pada titik putaran normal.



Gb. 1.11 Kurva momen puntir awal dari pompa aliran aksial.

## 2 | SPESIFIKASI

### 2.1 Spesifikasi Pompa

Dalam memilih suatu pompa untuk suatu maksud tertentu, terlebih dahulu harus diketahui kapasitas aliran serta head yang diperlukan untuk mengalirkan zat cair yang akan dipompa.

Selain dari pada itu, agar pompa dapat bekerja tanpa mengalami kavitasi, perlu ditaksir berapa tekanan minimum yang tersedia pada sisi masuk pompa yang terpasang pada instalasinya. Atas dasar tekanan isap ini maka putaran pompa dapat ditentukan.

Kapasitas aliran, head, dan putaran pompa dapat ditentukan seperti tersebut di atas. Tetapi apabila perubahan kondisi operasi sangat besar (khususnya perubahan kapasitas

Tabel 2.1 Data yang diperlukan untuk pemilihan pompa.

No.	Data yang diperlukan	Keterangan
1	Kapasitas	Diperlukan juga keterangan mengenai kapasitas maksimum dan minimum.
2	Kondisi isap	Tinggi isap dari permukaan air isap ke level pompa. Tinggi fluktuasi permukaan air isap. Tekanan yang bekerja pada permukaan air isap. Kondisi pipa isap.
3	Kondisi keluar	Tinggi permukaan air keluar ke level pompa. Tinggi fluktuasi permukaan air keluar. Besarnya tekanan pada permukaan air keluar. Kondisi pipa keluar.
4	Head total pompa	Harus ditentukan berdasarkan kondisi-kondisi di atas.
5	Jenis zat cair	Air tawar, air laut, minyak, zat cair khusus (zat kimia), temperatur, berat jenis, viskositas, kandungan zat padat, dll.
6	Jumlah pompa	
7	Kondisi kerja	Kerja terus-menerus, terputus-putus, jumlah jam kerja seluruhnya dalam setahun.
8	Penggerak	Motor listrik, motor bakar torak, turbin uap.
9	Poros tegak atau mendatar	Hal ini kadang-kadang ditentukan oleh pabrik pompa yang bersangkutan berdasarkan instalasinya.
10	Tempat instalasi	Pembatasan-pembatasan pada ruang instalasi, ketinggian di atas permukaan laut, di luar atau di dalam gedung, fluktuasi temperatur.
11	Lain-lain	

dan head) maka putaran dan ukuran pompa yang akan dipilih harus ditentukan dengan memperhitungkan hal tersebut.

Selanjutnya, untuk menentukan penggerak mula yang akan dipakai, harus lebih dahulu dilakukan penyelidikan tentang jenis sumber tenaga yang dapat dipergunakan di tempat yang bersangkutan.

Contoh data yang umumnya diperlukan untuk memilih pompa disajikan dalam Tabel 2.1.

Cara untuk menentukan spesifikasi pompa seperti harga-harga yang dikemukakan di atas, jenis, diameter pompa, dan daya yang diperlukan, akan diuraikan seperti berikut ini.

## 2.2 Kapasitas Aliran

Laju aliran yang menentukan kapasitas pompa ditentukan menurut kebutuhan pemakaiannya. Di bawah ini akan diberikan cara menentukan laju aliran untuk berbagai pemakaian yang sering dijumpai dalam praktek.

### 2.2.1 Keperluan Laju Aliran Untuk Berbagai Pemakaian

#### (1) Pusat Air Minum

Untuk merencanakan sebuah pusat air minum, terlebih dahulu harus ditentukan daerah dan jumlah penduduk yang akan dilayani. Kemudian jumlah air yang harus disediakan serta jumlah air baku yang harus disadap dari sumber air harus ditentukan.

Dalam merencanakan jumlah penyediaan air, perlu ditaksir keperluan per kapita per hari. Jika angka ini dikalikan dengan jumlah penduduk yang akan dilayani, dapat diperoleh angka keperluan seluruhnya per hari. Untuk menentukan kapasitas aliran yang diperlukan harus ditaksir pula konsumsi rata-rata dan konsumsi puncak (maksimum) per jam yang dapat terjadi dalam satu hari.

Untuk menentukan jumlah air baku yang akan diambil dari sungai atau dari sumur, perlu diperhitungkan kerugian-kerugian karena kebocoran pada waktu air dijernihkan di pusat penjernihan dan pada waktu didistribusikan kepada konsumen.

Jumlah air baku yang akan diambil dari sumber dapat dihitung dengan cara berikut ini:

#### (a) Konsumsi harian maksimum per orang

Untuk instalasi baru, harga konsumsi ini harus ditentukan berdasarkan catatan (data) dari kota atau daerah pemukiman lain yang mempunyai karakteristik serta perkembangan yang serupa dengan yang sedang direncanakan. Untuk memperkirakan perluasan instalasi di masa mendatang, perlu didasari catatan dari pengalaman yang baru lalu. Namun sebagai perkiraan pertama dapat dipakai harga standar seperti diberikan dalam Tabel 2.2.

#### (b) Konsumsi harian maksimum

Setelah konsumsi harian maksimum per orang ditentukan maka jumlah konsumsi harian maksimum keseluruhan dapat dihitung sebagai berikut:

(Konsumsi harian maksimum) =

(Konsumsi harian maksimum per orang)  $\times$  (Jumlah penduduk atau konsumen)

Harga konsumsi harian maksimum tersebut di atas akan dipakai sebagai dasar untuk menentukan besarnya instalasi pusat air minum yang direncanakan.

**Tabel 2.2 Jumlah kebutuhan air maksimum per orang per hari menurut kelompok jumlah penduduk.**

Jumlah penduduk (satuan: 10.000 orang)	Kebutuhan air (l/orang · hari)
Kurang dari 1	150–300
1–5	200–350
5–10	250–400
10–30	300–450
30–100	350–500
Lebih dari 100	Lebih dari 400

(c) Konsumsi harian rata-rata

Angka ini akan diperlukan untuk menghitung konsumsi energi listrik serta biaya operasi dan pemeliharaan. Besarnya dapat ditaksir sebagai berikut:

(Konsumsi harian rata-rata) =

(Konsumsi harian maksimum)  $\times$  0,7 (untuk kota kecil atau sedang), atau  
0,8 (untuk kota besar atau kota industri)

(d) Konsumsi tiap jam maksimum

Konsumsi ini merupakan kebutuhan puncak dalam jangka 1 tahun, di mana akan terjadi laju aliran maksimum pada sistem distribusi air. Jadi angka ini penting untuk menentukan ukuran pipa dan sistem distribusi yang akan direncanakan. Adapun cara menaksirnya adalah sebagai berikut:

(Konsumsi per jam maksimum) =

(Konsumsi harian maksimum 24)  $\times$  1,5 (untuk kota kecil atau sedang), atau  
1,3 (untuk kota besar atau kota industri)

(e) Pompa penyadap dan penyalur

Pompa yang dipakai untuk menyadap air baku dari sumber serta mengalirkannya ke instalasi penjernihan disebut pompa penyadap (intake). Adapun pompa yang dipergunakan untuk mengalirkan air bersih dari penjernihan ke tandon distribusi disebut pompa penyalur.

Kapasitas pompa ini dapat ditaksir sebagai berikut:

- 1) Jumlah air yang disadap = (Konsumsi harian maksimum)  $\times$  (1,1 sampai 1,15)  
Faktor perkalian sebesar 1,1 sampai 1,15 tersebut di atas diambil untuk mengimbangi kebocoran pipa atau pemakaian air kerja di pusat penjernihan.
- 2) Jumlah air yang disalurkan = (Konsumsi harian maksimum) + ( $\alpha$ )  
Di sini ( $\alpha$ ) adalah jumlah air yang harus ditambahkan untuk mengganti kehilangan karena bocoran antara pusat penjernihan dan reservoir distribusi.
- 3) Fluktuasi jumlah air dan dasar penentuan jumlah pompa.

Pompa penyadap dan pompa penyalur biasanya bekerja tanpa fluktuasi aliran yang cukup berarti. Pada umumnya pompa-pompa ini bekerja dengan beban penuh. Adapun jumlah pompa yang diperlukan untuk memenuhi jumlah air yang dipompa dapat ditentukan menurut Table 2.3.

(f) Pompa distribusi

**Tabel 2.3 Jumlah pompa terpasang untuk menyadap (intake) dan menyalurkan.**

Debit yang direncanakan ( $m^3/hari$ )	Jumlah pompa utama	Jumlah pompa cadangan	Jumlah pompa keseluruhan
Sampai 2.800	1	1	2
2.500–10.000	2	1	3
Lebih dari 9.000	Lebih dari 3	Lebih dari 1	Lebih dari 4

*Catatan:* Jumlah pompa penguat (booster pump) yang terpasang untuk penyaluran air melalui pipa juga ditentukan berdasarkan tabel ini.

Pompa yang dipakai untuk menyalurkan air bersih dari tandon distribusi ke konsumen disebut pompa distribusi. Untuk menentukan besarnya pompa yang diperlukan, harus diperhatikan dua hal sebagai berikut:

- 1) Kapasitas total pompa harus dapat memenuhi kebutuhan maksimum (kebutuhan pada titik puncak) dari konsumen.
- 2) Pompa harus dapat bekerja secara efisien pada kebutuhan yang berfluktuasi dari waktu ke waktu.

Untuk memenuhi kedua kriteria di atas pada umumnya diperlukan lebih dari satu pompa. Pada instalasi konvensional yang standar, biasanya dipakai dua buah pompa, satu besar dan satu kecil. Namun dalam banyak hal akan lebih baik jika dipergunakan beberapa pompa dengan kapasitas yang sama (Tabel 2.4). Jika jumlah air yang didistribusikan sangat besar, akan lebih menguntungkan jika dipakai beberapa pompa yang sama kapasitasnya ditambah dengan pengatur putaran untuk melayani konsumsi yang berfluktuasi tiap jam.

**Tabel 2.4 Jumlah pompa distribusi terpasang.**

Debit yang direncanakan ( $m^3/jam$ )	Jumlah pompa utama	Jumlah pompa cadangan	Jumlah pompa keseluruhan
Sampai 125	2	1	3
120–450	Besar 1 Kecil 1	1	Besar 2 Kecil 1
Lebih dari 400	Besar: 3–5 atau lebih Kecil: 1	Besar: 1 atau lebih Kecil: 1	Besar: 4–6 atau lebih Kecil: 2

*Catatan:* Jumlah pompa penguat yang dipasang untuk pipa distribusi harus ditentukan juga berdasarkan tabel ini.

## (2) Pusat air minum sederhana

Untuk jumlah penduduk atau konsumen kurang dari 5000 orang dapat dipakai instalasi pusat air minum yang sederhana. Instalasi seperti ini direncanakan seperti biasa namun skalanya lebih kecil.

Konsumsi air pada pemukiman sekecil ini sangat mudah dipengaruhi oleh berbagai fasilitas yang terbuka untuk umum seperti rumah sakit, sekolah, hotel, dll. Dengan demikian, dalam perencanaan, fasilitas-fasilitas tersebut harus turut diperhitungkan.

Konsumsi air per orang per hari di rumah kurang lebih adalah 50 liter, dan untuk keperluan W.C. harus ditambah dengan 10 sampai 30 liter. Indeks kasar untuk menaksir kebutuhan air bersih, baik untuk perumahan maupun fasilitas lain, diberikan dalam Tabel 2.5.

**Tabel 2.5 Kebutuhan air per orang per hari.**

Jenis fasilitas	Populasi yang diperhitungkan	Jumlah kebutuhan air rata-rata (l)	Jumlah kebutuhan air maksimum (l)
Perumahan	Jumlah penghuni	100	150
Sekolah	Jumlah orang di dalam gedung	35	50
Hotel	- " -	70	100
Perkantoran	Jumlah pegawai	50	70
Rumah sakit	Jumlah tempat tidur	250	400

Konsumsi standar per jam untuk perencanaan dapat dihitung dari konsumsi harian maksimum per orang dibagi 24 dan ditambah 50%. Harga ini diperlukan untuk menentukan distribusi standar. Namun jika sistem distribusi ini juga harus dapat memenuhi kebutuhan untuk pemadam kebakaran, maka jumlah air yang diperhitungkan harus ditambah. Tambahan untuk pemadam kebakaran harus lebih dari 1000 liter per menit dan harus dapat disadap sedikitnya dari dua buah hidran.

Dalam menentukan konsumsi harian maksimum, jumlah air yang diperlukan untuk fasilitas umum harus ditambahkan pada konsumsi penduduk di perumahan.

### (3) Air limbah

Untuk membuang air limbah dan air hujan terdapat dua macam sistem yang berbeda: Sistem terpisah dan sistem gabungan. Sistem terpisah menyalurkan dan membuang air limbah dan air hujan secara terpisah, sedangkan sistem gabungan menggunakan sistem yang sama. Sistem terpisah menyalurkan air limbah ke pengolah air limbah, dan air hujan disalurkan ke sungai terdekat atau ke laut. Sistem gabungan biasanya menyalurkan air limbah ke pengolah air limbah. Tetapi pada waktu hujan, jumlah air yang melebihi batas dilimpaskan ke sungai atau ke laut.

Pada kedua sistem tersebut, pompa air limbah yang menyalurkan ke instalasi pengolahan harus berbeda dengan pompa air hujan. Dalam hal demikian, jumlah air limbah dan jumlah air hujan yang akan dipompa harus ditaksir secara berbeda pula.

#### (a) Menaksir jumlah air limbah

Jumlah air limbah yang dibuang dari suatu daerah pemukiman tergantung pada jumlah penduduk yang ada. Untuk menaksir kapasitas aliran pompa air limbah yang direncanakan harus diambil jumlah penduduk dengan kepadatan jenuh sebagai dasar perhitungan. Jumlah ini dapat diperoleh dengan menaksir pertambahan penduduk di daerah yang bersangkutan berdasarkan data perkembangan penduduk pada tahun-tahun yang lampau.

Jumlah aliran air limbah maksimum per orang per hari hampir sama dengan konsumsi air bersih harian maksimum per orang. Bila perlu, jumlah ini dapat ditambah dengan 10 sampai 20% untuk air tanah yang meresap keluar, dan tambahan lain berupa buangan dari pabrik-pabrik.

Kapasitas pompa air limbah (dalam  $m^3/jam$ ) yang direncanakan dapat ditaksir dari jumlah air limbah harian maksimum dibagi 24 dan ditambah dengan 30 sampai 50%. Tambahan ini semakin besar untuk jumlah yang semakin kecil, dan dapat mencapai 70 sampai 80% untuk kota kecil.

Dalam hal sistem terpisah, konsumsi air bersih akan mempengaruhi aliran air limbah secara langsung. Jadi aliran air limbah akan mengalami fluktuasi yang besar pula.

(b) Taksiran air hujan

Jumlah aliran air hujan yang akan dipakai sebagai dasar perencanaan pompa air limbah dapat ditaksir dengan memperhitungkan hal-hal berikut:

1) *Curah hujan*

Curah hujan per jam disebut intensitas curah hujan. Intensitas yang dipakai sebagai dasar penentuan kapasitas pompa diambil dari data curah hujan 3 sampai 5 tahunan.

2) *Koefisien limpas*

Ferbandingan antara jumlah aliran hujan yang mengalir masuk sistem air limbah dengan curah hujan disebut koefisien limpas. Harga koefisien ini untuk berbagai kawasan diberikan dalam Tabel 2.6.

**Tabel 2.6 Koefisien limpas (runoff).**

Daerah	Koefisien limpas
Perdagangan	0,9-0,7
Perumahan	0,3-0,5
Industri	0,4-0,6
Taman dan jalur hijau	0,1-0,2

3) *Curah hujan untuk dasar perencanaan*

Kapasitas pompa air hujan harus ditentukan berdasarkan curah hujan yang dihitung dari data tersebut di atas. Untuk perhitungan tersebut, orang sering memakai rumus berikut ini:

$$Q = \frac{1}{360} C i A \quad (2.1)$$

di mana  $Q$ : Curah hujan rencana ( $m^3 s$ )

$C$ : Koefisien limpas

$i$ : Intensitas curah hujan (mm/jam)

$A$ : Luas kawasan yang dikeringkan (ha)

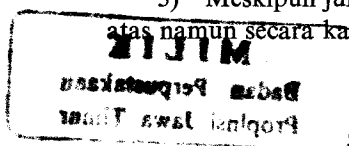
(4) Drainase tanah pertanian

(a) Persyaratan dasar untuk menentukan jumlah air drainase

1) Jika kapasitas pompa ditentukan berdasarkan laju aliran maksimum air hujan yang membanjiri tanah pertanian setelah hujan turun maka akan diperlukan pompa yang terlalu besar. Jadi, kapasitas pompa harus ditentukan dengan mempertimbangkan bahwa genangan pada tanah pertanian dapat diterima sampai batas tertentu. Dalam hal ini variasi kedalaman genangan terhadap waktu harus ditaksir. Kemudian kapasitas pompa ditentukan sedemikian rupa hingga kelebihan air dapat dipompa untuk menjaga agar kedalaman dan lamanya genangan tidak melampaui batas tinggi dan batas waktu yang diperbolehkan.

2) Kedalaman genangan yang diperbolehkan harus kurang lebih setengah tinggi tanaman padi sawah (kurang lebih 0,2 sampai 0,3 m). Lamanya genangan yang masih dapat diterima adalah tidak lebih dari 1 sampai 2 hari, yang diperkirakan tidak akan merusak tanaman padi.

3) Meskipun jumlah drainase direncanakan berdasarkan cara seperti diuraikan di atas namun secara kasar dapat ditaksir sebagai berikut:





Mula-mula perlu ditentukan jumlah limpasan keseluruhan dari air hujan di tanah dengan rumus

$$Q = 10fRA10 \quad (2.2.a)$$

di mana  $Q$ : Limpasan keseluruhan ( $m^3$ )

$R$ : Curah hujan standar (mm)

$f$ : Koefisien limpas

$A$ : Luas wilayah drainase (ha)

Dari jumlah limpasan yang dihitung dengan cara di atas kemudian dapat diperkirakan kapasitas pompa drainase yang diperlukan dengan rumus

$$Q_p = \frac{Q}{24 \times 3600 \times D} \quad (2.2.b)$$

di mana  $Q_p$ : Kapasitas pompa drainase ( $m^3/s$ )

$D$ : Lamanya genangan yang diperbolehkan (hari)

Koefisien limpas yang dipakai untuk menentukan limpasan total dipengaruhi oleh curah hujan total seperti diberikan di dalam Tabel 2.7.

Jumlah hari limpas harus dihitung secara coba-coba dengan memperhatikan bahwa limpasan total akan terdistribusikan seperti dalam Tabel 2.8.

**Tabel 2.7 Curah hujan total dan koefisien limpas total.**

Curah hujan total (mm)	Kurang dari 10	10-30	30-50	50-100	100-200	200-300	Lebih dari 300
Koefisien limpas total	0	0,10	0,30	0,50	0,80	0,90	0,95

**Tabel 2.8 Faktor distribusi limpasan dari curah hujan tunggal.**

Curah hujan (mm) \ Hari	Hari ke-1	Hari ke-2	Hari ke-3	Hari ke-4	Jumlah
Kurang dari 30	100%	—	—	—	100%
30-50	70%	30%	—	—	100%
50-100	60%	30%	10%	—	100%
Lebih dari 100	50%	30%	15%	5%	100%

Untuk penentuan akhir dari spesifikasi perencanaan, kondisi limpasan air hujan dan kondisi fluktuasi muka air harus diperhitungkan. Dalam hal ini perlu dipelajari buku-buku profesional dalam bidang tersebut.

#### (5) Pengairan tanah pertanian

Ditinjau dari cara pengairan, tanah pertanian dapat dibedakan antara sawah dan ladang.

##### (a) Pengairan sawah

###### 1) Keperluan air

Sawah untuk tanaman padi harus digenangi air dengan kedalaman tertentu. Untuk memelihara kedalaman tersebut diperlukan tambahan air terus menerus guna mengganti penyusutan karena transpirasi tanaman, penguapan sawah, dan perkolasi\*. Jadi:

\* Transpirasi = penguapan melalui pernapasan tanaman

Penguapan = penguapan langsung dari air ke udara

Perkolasi = peresapan air ke dalam tanah.

Penyusutan kedalaman air per hari  $h$  (mm/hari) =

Transpirasi + Penguapan + Peresapan – Curah hujan berguna.

Curah hujan berguna dan penguapan selama jangka waktu pengairan tergantung pada musim, tempat, dan cuaca. Pengaruh cuaca harus ditentukan atas dasar kondisi musim terburuk dalam 10 sampai 20 tahun. Kehilangan air karena perkolasi tergantung pada keadaan geologi tanah dari sawah yang bersangkutan, dan dapat ditentukan dengan pengukuran di tempat.

Komponen-komponen penyusutan air seperti tersebut di atas dapat ditaksir secara kasar sebagai berikut:

Transpirasi tanaman: 6–7 mm/hari

Penguapan: 4–5 mm/hari

Perkolasi: 10–20 mm/hari (sawah lama)

30–45 mm/hari (sawah baru)

Adapun jumlah air yang diperlukan seluruhnya dapat dihitung dari rumus

$$Q = 10hA \quad (2.3)$$

di mana  $Q$ : Jumlah air irigasi total ( $m^3$ /hari)

$h$ : Laju penyusutan (mm/hari)

$A$ : Luas sawah (ha)

## 2) Kapasitas pompa

Jumlah air yang diperlukan untuk pengairan sawah adalah untuk mengganti penyusutan air rata-rata. Jumlah ini akan bertambah sampai mencapai maksimum pada permulaan musim tanam, yaitu pada saat persiapan, penanaman, dan pembungaan (kurang lebih 30 sampai 40 hari).

Jadi kapasitas pompa yang direncanakan harus ditentukan atas dasar kebutuhan maksimum. Namun untuk mengganti penyusutan air yang biasa, pompa harus dijalankan sedemikian hingga waktu kerja hariannya dapat dipersingkat.

Kapasitas pompa berdasarkan kebutuhan puncak dapat dihitung dengan rumus

$$Q_p = Qk/T \quad (2.4)$$

di mana  $Q_p$ : Kapasitas pompa yang direncanakan ( $m^3$ /jam)

$Q$ : Jumlah air irigasi keseluruhan ( $m^3$ /hari)

$k$ : Koefisien kehilangan air di saluran (=1,1)

$T$ : Jumlah kerja aliran dalam kondisi kebutuhan puncak (= 18 sampai 21 jam)

## (b) Pengairan ladang

Pengairan untuk ladang berbeda dengan pengairan sawah. Di sini air dialirkan melalui saluran dan parit-parit di antara petak-petak tanaman atau disiramkan dengan penyemprot melalui pipa-pipa. Pemberian air dilakukan setiap 3 sampai 10 hari sekali.

Air yang diberikan sebagian akan diserap tanaman dan sebagian hilang karena peresapan ke dalam tanah. Karena itu ada yang disebut efisiensi pengairan, yaitu perbandingan antara jumlah air yang diserap tanaman dan jumlah air yang diberikan.

Kapasitas pompa yang diperlukan dapat ditaksir dengan rumus

$$Q_p = \frac{hAkD}{360TE} \quad (2.5)$$

di mana  $Q_p$ : Kapasitas pompa yang direncanakan ( $m^3$ /s)

$h$ : Jumlah air yang diperlukan (mm/hari)

(Padi ladang/gogo rancak = 6 – 9 mm/hari; sayuran = 3 – 5 mm/hari)

$A$ : Luas ladang (ha)

$k$ : Koefisien kehilangan dalam saluran

( $k = 1,1$  untuk pengairan melalui parit)

$D$ : Selang (interval) pemberian air (hari)

$T$ : Jumlah jam yang dipergunakan untuk setiap kali pemberian air (jam)  
(biasanya 8 – 12 jam)

$E$ : Efisiensi pengairan

( $E = 0,65$  untuk pengairan dengan parit di antara petak-petak tanaman,

$E = 0,80$  untuk pengairan siram atau sprinkler).

Dalam hal pengairan siram, tekanan pada penyemprot biasanya berkisar antara 2 – 3 kgf/cm<sup>2</sup> atau 0,2 – 0,3 MPa.

#### (6) Pelayanan gedung

Air dipakai di gedung-gedung untuk memenuhi kebutuhan air bersih, sistem penyegaran udara (air-conditioning), pemadam kebakaran, dan sebagainya.

Kebutuhan air bersih untuk gedung ditentukan berdasarkan konsumsi harian maksimum. Kebutuhan per orang untuk berbagai jenis gedung adalah seperti yang diberikan di dalam Tabel 2.9.

**Tabel 2.9 Jumlah air yang dipakai per orang dan waktu pemakaiannya menurut jenis gedung.**

Jenis gedung	Pemakaian air rata-rata per hari (l)	Waktu pemakaian air rata-rata (jam)	Keterangan
Kantor	100–120	8	Per karyawan
Rumah sakit	250–1000	10	Per tempat tidur (pasien luar: 8 l, karyawan: 120 l, perawat: 160 l.)
Gedung bioskop dan sandiwara	10	3	Per pengunjung
Toko, department store	3	5	Per pengunjung (karyawan: 100 l, karyawan penghuni: 160 l.)
Rumah makan	5	-	- " -
Kafeteria	5	5	- " -
Perumahan	25–50	8–10	Per penghuni
Hotel, losmen	50–500	10	Per tamu
Sekolah dasar, sekolah lanjutan	40–50	5–6	Per murid
Laboratorium	100–200	8	Per karyawan
Pabrik	50–100	8	Per orang per shift (pria: 80 l, wanita: 100 l)
Stasiun kereta api	3	15	Per penumpang

Saat-saat terjadinya konsumsi maksimum setiap hari akan bergantung pada jenis gedung maupun pada kebiasaan-kebiasaan para penghuni atau pemakainya. Misalnya untuk perumahan di Indonesia, konsumsi maksimum terjadi antara jam 6.00 sampai 9.00 pagi.

Konsumsi air yang dihitung berdasarkan tabel di atas harus ditambah dengan jumlah air yang diperlukan oleh sistem penyegaran udara untuk menaksir kebutuhan seluruhnya. Dalam hal pendinginan udara, air tersebut diperlukan sebagai penambah air pendingin pada sistem tersebut. Jumlah air pendingin yang diperlukan di sini dapat ditaksir sebagai berikut: Untuk sistem dengan menara pendingin diperlukan 13 liter/

menit per ton refrijerasi; untuk sistem dengan pendinginan air sumur diperlukan 8 liter/menit per ton refrijerasi. Jika perbedaan temperatur masuk dan keluar air pendingin adalah 5°C, diperlukan 10 liter/menit air per ton refrijerasi. Jumlah air penambah untuk menara pendingin dapat ditaksir antara 2 sampai 5 % kapasitas aliran air yang disirkulasikan.

Untuk hidran kebakaran berukuran kecil, dengan diameter 40 sampai 50 mm, perlu ditambahkan aliran sebesar 130 sampai 260 liter/menit.

Dalam hal perencanaan sistem drainase dari air bersih harus diambil jumlah sebesar 1,5 kali lipat kebutuhan air bersih maksimum. Namun, untuk mengatasi limpasan air yang dapat terjadi pada waktu diadakan perbaikan pipa air, sistem drainase yang ada harus dapat menampung aliran dari dua pompa sekali gus dalam keadaan darurat.

Sistem pembuangan air limbah harus direncanakan berdasarkan konsumsi air bersih harian maksimum dikalikan dengan koefisien buang.\* Untuk rumah sakit, rumah tinggal, dan penginapan biasanya koefisien buang ini berkisar antara 0,6 sampai 0,8.

### 2.2.2 Jumlah Pompa

Jika laju aliran keseluruhan (yaitu jumlah konsumsi air bersih atau drainase) telah ditentukan maka kapasitas pompa dapat dihitung dengan membagi laju aliran total tersebut dengan jumlah pompa yang dipakai. Dalam menentukan jumlah pompa, hal-hal berikut ini harus diperhatikan.

#### (1) Pertimbangan ekonomi

Pertimbangan ini menyangkut masalah biaya, baik biaya investasi untuk pembangunan instalasi maupun biaya operasi dan pemeliharaannya.

##### (a) Biaya instalasi

Pada umumnya untuk laju aliran total yang sama, biaya keseluruhan untuk pembangunan fasilitas mekanis kurang lebih tetap sama meskipun dipakai jumlah pompa yang berbeda.

Juga dapat dikatakan bahwa jumlah biaya untuk fasilitas mekanis kurang lebih proposional terhadap laju aliran asalkan head, NPSH tersedia, model dan jenis pompa yang dinyatakan dalam pasal 2.5 tetap sama.

Namun, jika jumlah pompa diambil sedemikian rupa (dalam batas-batas tertentu) hingga memungkinkan dipakainya pompa standar yang murah, maka biaya keseluruhan untuk fasilitas mekanis kadang-kadang dapat menjadi lebih rendah.

##### (b) Biaya operasi dan pemeliharaan

Komponen biaya operasi yang terpenting adalah biaya untuk energi atau daya. Biaya ini dapat dibuat ekonomis apabila diambil langkah-langkah berikut.

- 1) Jika kebutuhan air berubah-ubah, maka beberapa pompa dengan kapasitas sama, yaitu sebesar atau hampir sebesar konsumsi minimum, harus dipakai. Atau dapat juga dipakai beberapa pompa dengan lebih dari satu macam kapasitas.
- 2) Pada umumnya jika kapasitas pompa menjadi besar, efisiensi pompa juga menjadi lebih tinggi. Jadi penggunaan daya menjadi lebih ekonomis.

Agar biaya pemeliharaan dan pengelolaan dapat ditekan, jumlah pompa tidak boleh

---

\* Koefisien buang (discharge coefficient) ialah jumlah aliran air limbah dibagi dengan jumlah aliran bersih yang dikonsumsi.

~~jumlah~~ banyak. Selain itu sedapat mungkin pompa-pompa yang dipakai sama antara ~~yang~~ satu dengan yang lain agar suku cadangnya dapat saling dipertukarkan. Hal ini ~~ini~~ memudahkan pemeliharaan.

### 2 Batas kapasitas pompa

Sebagai akibat dari kemajuan dalam teknologi ~~permesinan~~ dan teknik sipil, pompa-pompa dengan kapasitas sangat besar dapat dibuat ~~akhir-akhir~~ ini.

Batas atas kapasitas suatu pompa pada umumnya ~~tergantung~~ pada kondisi berikut ini:

- Berat dan ukuran terbesar yang dapat diangkat dan ~~pabrik~~ ke tempat pemasangan.
- Lokasi pemasangan pompa dan cara pengangkatannya.
- Jenis penggerak dan cara mentransmisikan daya dari ~~penggerak~~ ke pompa.
- Pembatasan pada besarnya mesin perkakas yang ~~dipakai~~ untuk mengerjakan bagian-bagian pompa.
- Pembatasan pada performansi pompa (seperti kavitasi ~~dll~~).

### (3) Pembagian resiko

Menggunakan hanya satu pompa untuk melayani laju aliran ~~keseluruhan~~ dalam suatu instalasi yang penting adalah besar resikonya. Instalasi akan ~~bisa~~ berfungsi sama sekali jika pompa satu-satunya itu rusak. Jadi untuk memperkecil ~~resiko~~ perlu dipakai dua pompa atau lebih, tergantung pada pentingnya instalasi. Selain ~~dan~~ pada itu, untuk memperbesar keandalan instalasi, perlu disediakan sedikitnya ~~satu~~ pompa cadangan, tergantung pada kondisi kerja dan pentingnya instalasi.

Setelah jumlah pompa dan kapasitas masing-masing dapat ~~dipilih~~ dengan mempertimbangkan hal-hal di atas maka diameter isap pompa dapat ~~ditentukan~~. Dalam Tabel 2.10 dan 2.11 diberikan diameter isap untuk berbagai ~~kapasitas~~ pompa.

Diameter isap pompa tidak perlu sama dengan diameter pipa ~~isap~~ atau pipa air yang ada. Dalam hal ini diameter pipa isap tidak boleh lebih kecil ~~dan~~ pada diameter isap pompa. Besarnya diameter pipa isap ditentukan menurut ~~perimbangan~~ ekonomis berdasarkan biaya instalasi dan operasi. Jika diameter pipa isap ~~lebih~~ besar dari pada diameter isap pompa, dapat dipakai reduser untuk menyambungkannya.

Tabel 2.10 Diameter isap dan cakupan kapasitas pompa volut kecil (satuan: m<sup>3</sup>/menit).

Diameter isap (mm)		40	50	65	80	100	125	150
Kapasitas	50Hz	Kurang dari 0,20	0,16–0,32	0,25–0,50	0,40–0,80	0,63–1,25	1,00–2,00	1,60–3,15
	60Hz	Kurang dari 0,22	0,18–0,36	0,28–0,56	0,45–0,90	0,71–1,40	1,12–2,24	1,80–3,55

Tabel 2.11 Diameter isap dan cakupan kapasitas pompa volut isap ganda (satuan: m<sup>3</sup>/menit).

Diameter isap (mm)		200	250	300	(350)	400	500
Kapasitas	50Hz	2,5–5,0	4,0–8,0	6,3–12,5	(8,0–16,0)	10,0–20,0	16,0–31,5
	60Hz	2,8–5,6	4,5–9,0	7,1–14,0	(9,0–18,0)	11,2–22,4	18,0–35,5

Tabel 2.12 Sifat-sifat fisik air (Air di bawah 1 atm, dan air jenuh di atas 100°C).

Temperatur (°C)	Kerapatan (kg/l)	Viskositas kinematik (m <sup>2</sup> /s)	Tekanan uap jenuh (kgf cm <sup>-2</sup> )
0	0,9998	$1,792 \times 10^{-6}$	0,00623
5	1,0000	1,520	0,00889
10	0,9998	1,307	0,01251
20	0,9983	1,004	0,02383
30	0,9957	0,801	0,04325
40	0,9923	0,658	0,07520
50	0,9883	0,554	0,12178
60	0,9832	0,475	0,20313
70	0,9771	0,413	0,3178
80	0,9699	0,365	0,4829
90	0,9617	0,326	0,7149
100	0,9523	0,295	1,0332
110	0,9419	0,244	2,0246
120	0,9297	0,211	3,685
140	0,9073	0,186	6,303
160	0,8869	0,168	10,224
180	0,8647	0,155	15,855
200	0,8403	0,150	23,656
220	0,814	0,136	34,138
240	0,784	0,131	47,869
260	0,751	0,128	65,468
280	0,712	0,127	87,621
300			

Catatan: 1 atm = 101,3 kPa 1 kgf cm<sup>-2</sup> = 98,1 kPa

Tabel 2.13 Sifat-sifat fisik beberapa zat cair.

## (a) Berat per satuan volume

Zat cair	Berat per satuan volume (kgf/m <sup>3</sup> )	Zat cair	Berat per satuan volume (kgf/m <sup>3</sup> )
Minyak linseed	931-936	Minyak bumi	
	941-929	Titik didih: 40-70°	650-660
		(Petroleum ether)	
Minyak ikan (cod-liver)	922-941	" 70°-90°	660-690
Minyak ikan paus	917-927	(Bensin)	
Minyak wijen	922-924	" 90°-110°	690-700
Minyak kedelai	925-927	(Benzole)	
Minyak lobak	913-918	" 110°-120°	700-730
		" 120°-170	730-760
		" 170°-245°	760-800
		(Kerosene)	
Minyak jarak	961-974	" 245°-310°	800-830
Minyak kelapa	925-938	" 310°-350°	830-880
		(Minyak pelumas)	

## (b) Berat per satuan volume dan viskositas kinematik zat cair pada 15°C

Zat cair	$\gamma$ (kgf/m <sup>3</sup> )	$10^7 \nu$ (m <sup>2</sup> /s)	Liquid	$\gamma$ (kgf/m <sup>3</sup> )	$10^7 \nu$ (m <sup>2</sup> /s)
Benzole	884	7,96	Octane	700	8,27
Toluene	870	7,17	Benzene	700-740	8,0-7,6
Xylene	868	7,86	Minyak zaitun	920	1075
Ammonia	617	3,65	Terpentin	875	18,6
Pentane	627	3,73	Bir	1020-1040	11,5
Hexane	658	5,12	Susu	1030	29,0
Heptane	683	6,40	Anggur	990-1000	11,5

## (c) Berat per satuan volume dan viskositas kinematik minyak

Minyak	$\gamma$ (15°C) (kgf/m <sup>3</sup> )	$10^7 \nu$ (20°C) (m <sup>2</sup> /s)	Minyak	$\gamma$ (15°C) (kgf/m <sup>3</sup> )	$10^7 \nu$ (20°C) (m <sup>2</sup> /s)
Minyak Diesel	857	41,4	Minyak mesin	911	940
Minyak bor	912	165	Minyak silinder	969	9400

## 2.3 Sifat-sifat Zat Cair

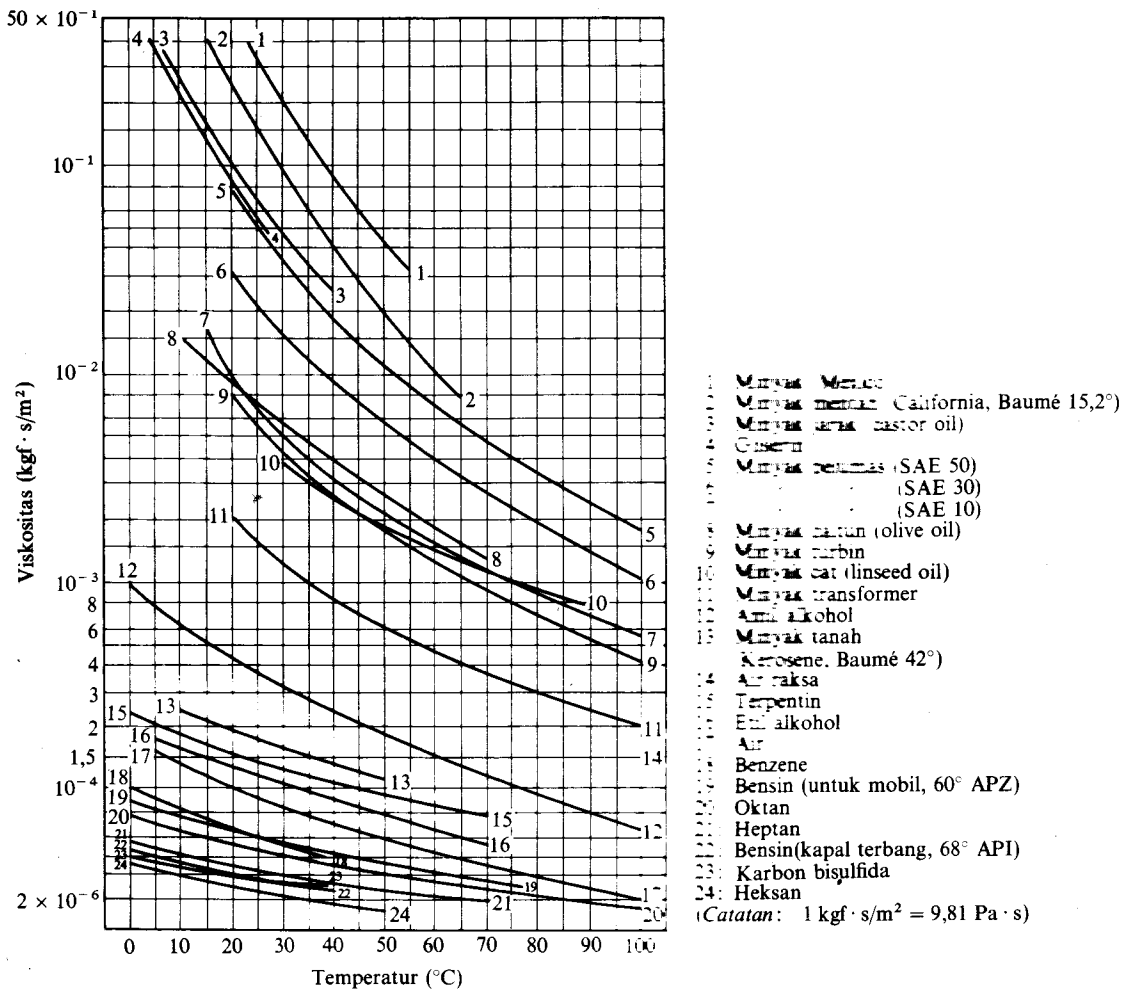
Performansi sebuah pompa dapat berubah-ubah tergantung pada karakteristik zat cair yang dialirkan. Jadi, dalam menentukan spesifikasi pompa, karakteristik ini harus diperhatikan. Sifat-sifat air dan beberapa fluida penting diberikan di bawah ini.

### 2.3.1 Sifat-sifat Air

Berat per satuan volume, viskositas kinematik, dan tekanan uap air untuk berbagai temperatur diberikan di dalam Tabel 2.12.

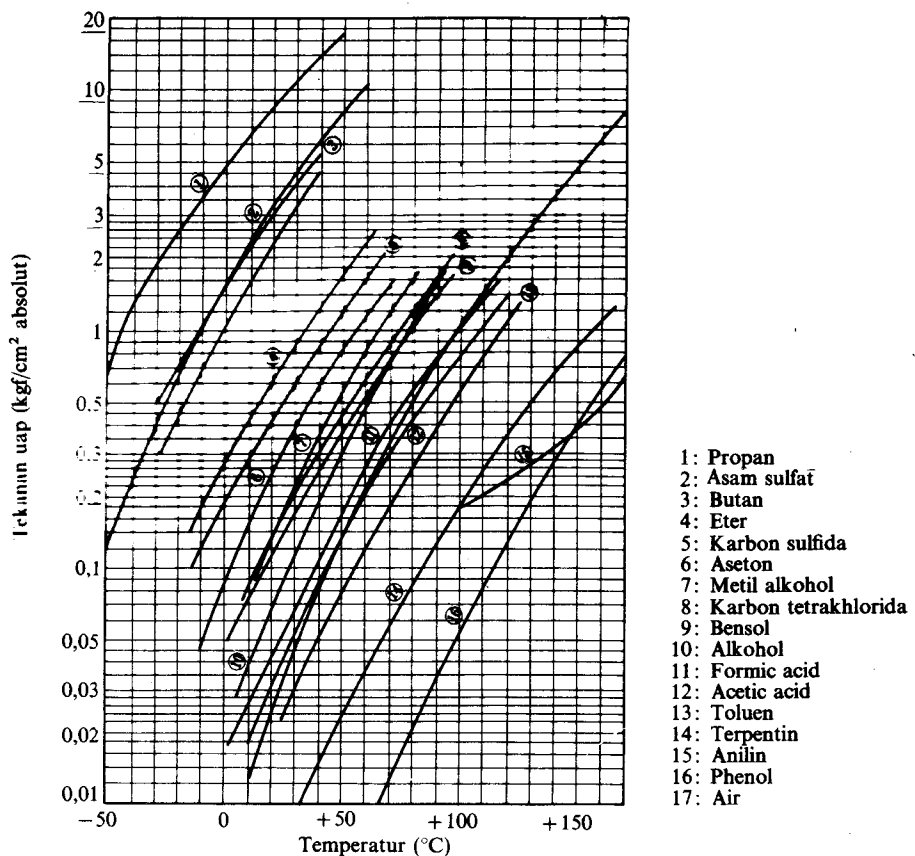
### 2.3.2 Sifat-sifat Zat Selain Air

Sifat-sifat fisik zat cair yang banyak dijumpai dalam teknik diberikan dalam Tabel 2.13 dan Gb. 2.1.



Gb. 2.1 Sifat-sifat fisik berbagai zat cair.





(b) Tekanan uap berbagai zat cair

(Catatan: 1 kgf/cm<sup>2</sup> = 0,1 MPa)

Gb. 2.1 Sifat-sifat fisik berbagai zat cair.

## 2.4 Head

### 2.4.1 Head Total Pompa

Head total pompa yang harus disediakan untuk mengalirkan jumlah air seperti direncanakan, dapat ditentukan dari kondisi instalasi yang akan dilayani oleh pompa. Seperti diperlihatkan dalam Gb. 2.2, head total pompa dapat ditulis sebagai berikut:

$$H = h_a + \Delta h_p + h_l + \frac{v_d^2}{2g} \quad (2.6)$$

di mana  $H$ : Head total pompa (m)

$h_a$ : Head statis total (m)

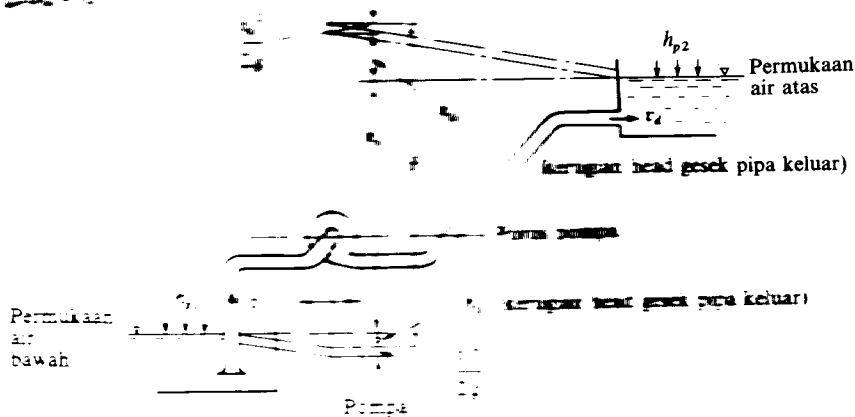
Head ini adalah perbedaan tinggi antara muka air di sisi keluar dan di sisi isap; tanda positif (+) dipakai apabila muka air di sisi ke luar lebih tinggi dari pada sisi isap.

$\Delta h_p$ : Perbedaan head tekanan yang bekerja pada kedua permukaan air (m),

$$\Delta h_p = h_{p2} - h_{p1},$$

$h_l$ : Berbagai kerugian head di pipa, katup, belokan, sambungan, dll (m),

Head  
 statis  
 Tekanan  
 gesek



Gb. 2.2 Head pompa (1).

$$h_l = h_{ld} + h_{ls}$$

$v^2/2g$ : Head kecepatan keluar (m)

$g$ : Percepatan gravitasi ( $= 9,8 \text{ m/s}^2$ )

Dalam hal pompa menerima energi dari aliran yang masuk ke sisi isapnya, seperti pada pompa penguat (pompa booster), maka head total pompa dapat dihitung dengan rumus berikut:

$$H = h_a + \Delta h_p + h_l + \frac{1}{2g}(v_d^2 - v_s^2) \quad (2.7)$$

di mana  $h_a$ : Perbedaan tinggi antara titik sebarang A di pipa keluar, dan sembarang titik B di pipa isap (m) (Lihat Gb. 2.3).

$\Delta h_p$ : Perbedaan tekanan statis antara titik A dan titik B (m)

$h_l$ : Berbagai kerugian head di pipa, katup, belokan dll. antara titik A dan titik B (m)

$v_d$ : Kecepatan aliran rata-rata di titik A (m/s)

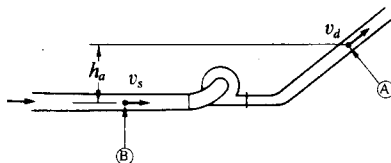
$v_s$ : Kecepatan aliran rata-rata di titik B (m/s)

Untuk pompa tegak yang tidak mempunyai pipa isap,  $h_l = h_a$ .

Apabila permukaan air berubah-ubah dengan perbedaan besar, head statis total harus ditentukan dengan mempertimbangkan karakteristik pompa, besarnya selisih perubahan permukaan air, dan dasar yang dipakai untuk menentukan jumlah air yang harus dipompa.

Adapun hubungan antara tekanan dan head tekanan dapat diperoleh dari rumus berikut:

$$h_p = 10 \times \frac{P}{\gamma} \quad (2.8)$$



Gb. 2.3 Head pompa (2).

di mana  $h_p$ : Head tekanan (m)

$p$ : Tekanan ( $\text{kgf cm}^2$ )

$\gamma$ : Berat per satuan volume zat cair yang dipompa ( $\text{kgf/l}$ )

Apabila tekanan diberikan dalam kPa, dapat dipakai rumus berikut:

$$h_p = \frac{1}{9.8} \frac{p}{\gamma} \quad (2.9)$$

di mana  $p$ : Tekanan (Pa)

$\rho$ : Rapat masa ( $\text{kg/l}$ )

Menurut ISO, energi spesifik  $Y$  ( $\text{J/kg}$ ) kadang-kadang dipakai sebagai pengganti head  $H$  (m). Adapun hubungannya adalah sebagai berikut:

$$Y = gH \quad (2.10)$$

Sebagaimana diutarakan di atas, untuk menentukan head total yang harus disediakan pompa, perlu dihitung lebih dahulu head kerugian  $h_f$ . Di bawah ini akan diuraikan cara menghitung kerugian head tersebut.

## 2.4.2 Head Kerugian

Head kerugian (yaitu head untuk mengatasi kerugian-kerugian) terdiri atas head kerugian gesek di dalam pipa-pipa, dan head kerugian di dalam belokan-belokan, redusen, katup-katup, dsb. Di bawah ini akan diberikan cara menghitungnya, satu per satu.

### (1) Head kerugian gesek dalam pipa

Untuk menghitung kerugian gesek di dalam pipa dapat dipakai salah satu dari dua rumus berikut ini:

$$h_f = C_f' \frac{L}{D} \frac{v^2}{2g} \quad (2.11)$$

$$h_f = \lambda \frac{L}{D} \frac{v^2}{2g} \quad (2.12)$$

di mana  $v$ : Kecepatan rata-rata aliran di dalam pipa ( $\text{m/s}$ )

$C_f'$ : Koefisien-koefisien

$R$ : Jari-jari hidrolis (m)

$$R = \frac{\text{Luas penampang pipa, tegak lurus aliran (m}^2\text{)}}{\text{Keliling pipa atau saluran yang dibasahi (m)}}$$

$S$ : Gradien hidrolis

$$S = \frac{h_f}{L}$$

$h_f$ : Head kerugian gesek dalam pipa (m)

$\lambda$ : Koefisien kerugian gesek

$g$ : Percepatan gravitasi ( $9.8 \text{ m s}^{-2}$ )

$L$ : Panjang pipa (m)

$D$ : Diameter dalam pipa (m)

Selanjutnya, untuk aliran yang laminar dan yang turbulen, terdapat rumus yang berbeda. Sebagai patokan apakah suatu aliran itu laminar atau turbulen, dipakai bilangan Reynolds:

$$Re = \frac{vD}{\nu} \quad (2.13)$$

1. Rumus Darcy-Weisbach untuk kehilangan energi:

2. Kehilangan energi gesek dalam pipa (m):

3. Kehilangan energi gesek:

4. Kehilangan energi gesek per meter:

5. Untuk  $Re < 2300$  aliran laminar:

6. Untuk  $Re > 4000$  aliran turbulen:

7. Untuk  $2300 < Re < 4000$  aliran turbulen transisi:

8. Untuk menghitung kehilangan energi gesek dalam pipa, perlu diketahui kecepatan aliran, diameter pipa, dan viskositas fluida.

9. Aliran laminar:

10. Untuk aliran laminar, koefisien gesek  $\lambda$  dapat dihitung dari Pers. (2.12) dengan menggunakan rumus:

$$\lambda = \frac{64}{Re} \quad (2.14)$$

(II) Aliran turbulen

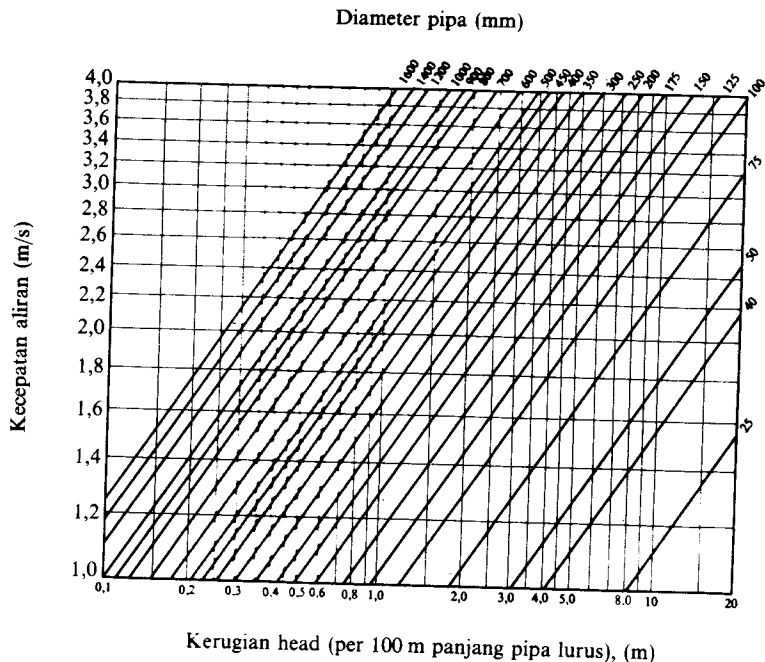
Untuk menghitung kerugian gesek dalam pipa pada aliran turbulen terdapat berbagai rumus empiris. Di bawah ini akan diberikan cara perhitungan dengan rumus Darcy dan Hazen-Williams.

1) Formula Darcy

Dengan cara Darcy, koefisien kerugian gesek  $\lambda$  dari Pers. (2.12) dihitung menurut rumus

$$\lambda = 0,020 + \frac{0,0005}{D} \quad (2.15)$$

di mana  $D$  adalah diameter dalam pipa (m). Rumus ini berlaku untuk pipa baru dari besi cor. Jika pipa telah dipakai selama bertahun-tahun, harga  $\lambda$  akan menjadi 1,5



Kerugian head (per 100 m panjang pipa lurus), (m)

Gb. 2.4 Kerugian gesek pada pipa lurus (rumus Darcy).

**Tabel 2.14 Kondisi pipa dan harga  $C$  (formula Hazen-William).**

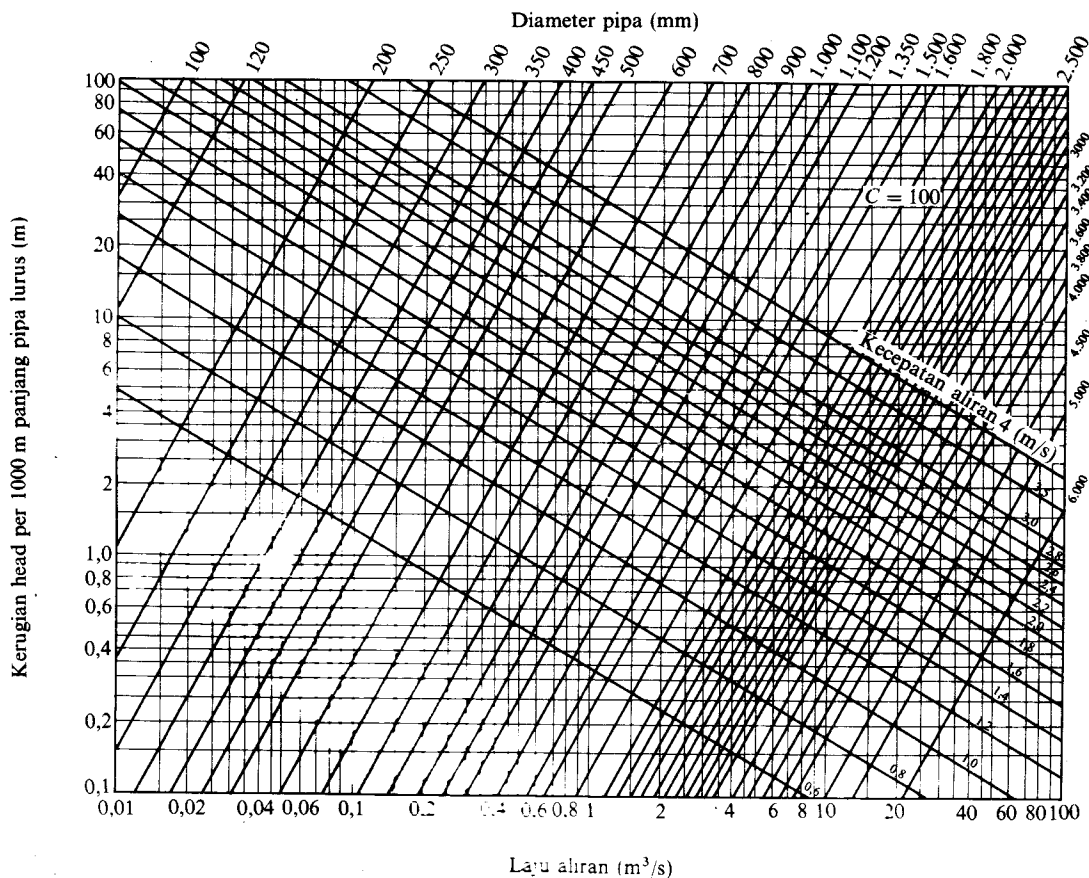
Jenis pipa	$C$
Pipa besi cor baru	130
Pipa besi cor tua	100
Pipa baja baru	120-130
Pipa baja tua	80-100
Pipa dengan lapisan semen	130-140
Pipa dengan lapisan ter arang batu	140

sampai 2,0 kali harga barunya.\*

Atas dasar rumus Darcy ini kerugian head untuk setiap 100 meter panjang pipa lurus, dapat dihitung dari diagram dalam Gb. 2.4.

2) *Rumus Hazen-Williams*

Rumus ini pada umumnya dipakai untuk menghitung kerugian head dalam pipa yang relatif sangat panjang seperti jalur pipa penyalur air minum. Bentuknya serupa



**Gb. 2.5 Kerugian gesek pada pipa lurus**  
(rumus Hazen-William.  $C = 100$ ).

\* Di Jepang, dalam Petunjuk Perencanaan dari Kementerian Kehutanan dan Standar Teknik dari Kementerian Pekerjaan Umum, digunakan harga  $\lambda$  sebesar 1,5 kali harga dalam rumus (2.14).

sebagai berikut:

$$h_f = \frac{Q^2 L}{C^2 D^5} \quad (2.16)$$

$$h_f = \frac{Q^2 L}{C^2 D^5} \quad (2.17)$$

di mana:

1. Koefisien gesek diberikan dalam Tabel 2.4

2. Panjang pipa (m)

3.  $D = 0,4$  meter pada perbandingan ini

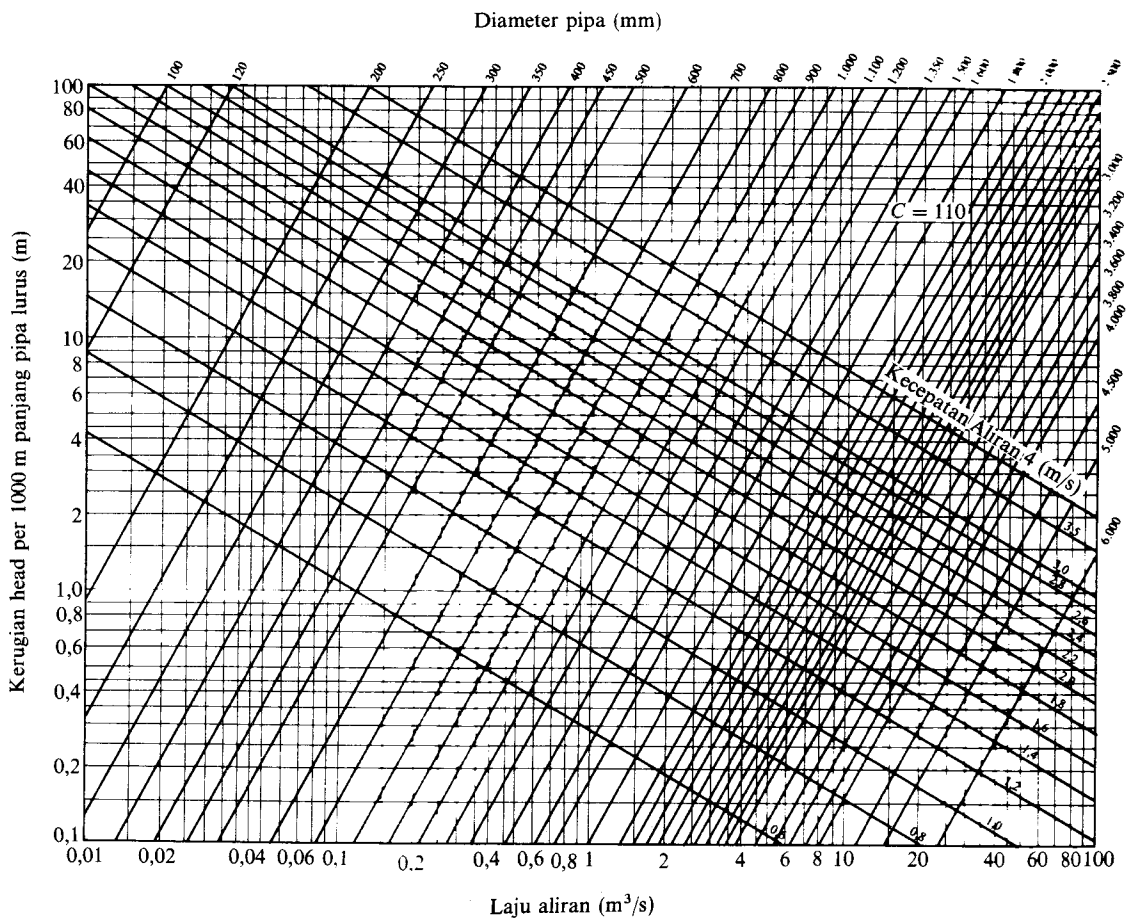
4. Gradien hidrolik  $S = h_f / L$

5. Kerugian head (m)

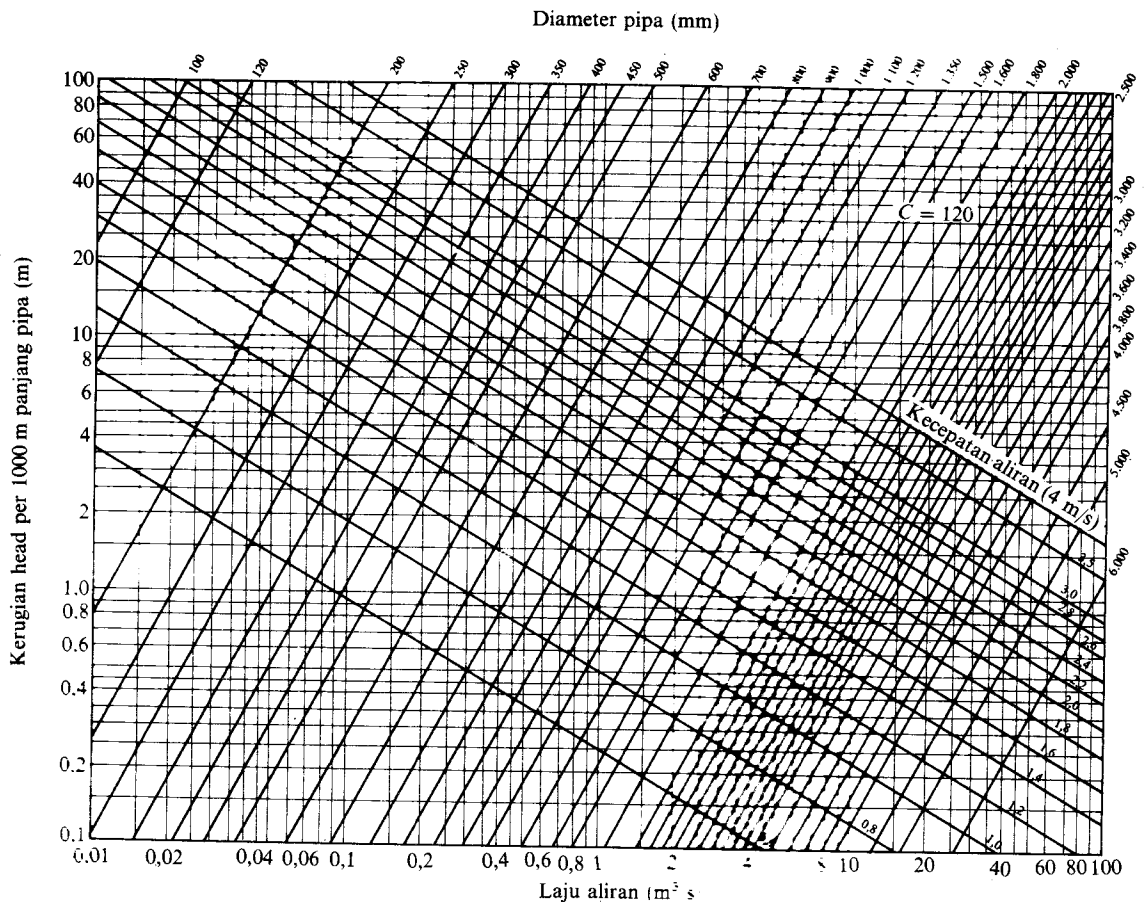
6. Laju aliran ( $m^3/s$ )

7. Panjang pipa (m)

Kerugian head dalam 100 m panjang pipa lurus yang dihitung dengan rumus di atas ditunjukkan dalam Gb. 2.5 s.d 2.8 untuk  $C = 100, 110, 120$  dan 130.



Gb. 2.6 Kerugian gesek pada pipa lurus  
(rumus Hazen-William,  $C = 110$ ).



Gb. 2.7 Kerugian gesek pada pipa lurus  
(rumus Hazen-William,  $C = 120$ ).

(2) Kerugian head dalam jalur pipa

Dalam aliran melalui jalur pipa, kerugian juga akan terjadi apabila ukuran pipa, bentuk penampang, atau arah aliran berubah. Kerugian head di tempat-tempat transisi yang demikian itu dapat dinyatakan secara umum dengan rumus

$$h_f = f \frac{v^2}{2g} \quad (2.18)$$

di mana  $v$ : Kecepatan rata-rata di dalam pipa (m/s)

$f$ : Koefisien kerugian

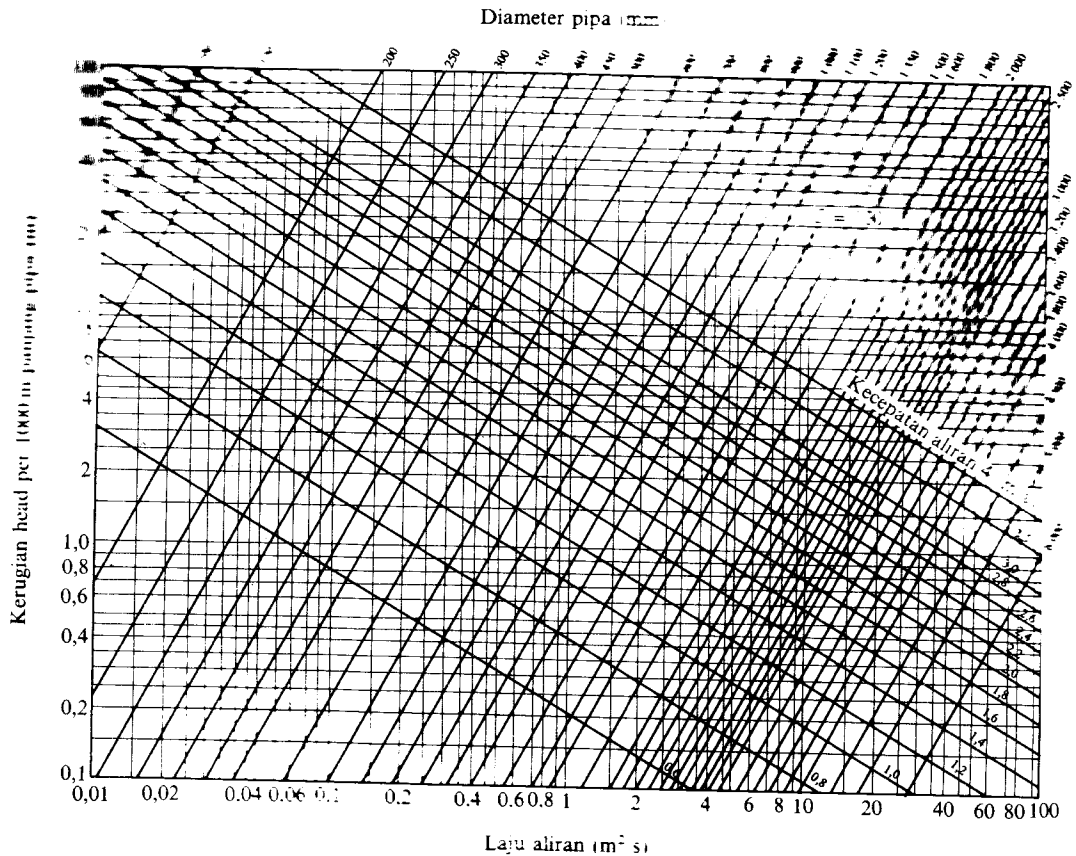
$g$ : Percepatan gravitasi (9,8 m/s<sup>2</sup>)

$h_f$ : Kerugian head (m)

Cara menentukan harga  $f$  untuk berbagai bentuk transisi pipa akan diperinci seperti di bawah ini.

(a) Ujung masuk pipa

Jika " $v$ " menyatakan kecepatan aliran setelah masuk pipa, maka harga koefisien kerugian  $f$  dari rumus (2.18) untuk berbagai bentuk ujung masuk pipa seperti diperlihatkan dalam Gb. 2.9 menurut Weisbach adalah sebagai berikut:



Gb. 2.8 Kerugian gesek pada pipa lurus  
(rumus Hazen-William,  $C = 130$ ).

- (i)  $f = 0,5$
- (ii)  $f = 0,25$
- (iii)  $f = 0,06$  (untuk  $r$  kecil) sampai  
0,005 (untuk  $r$  besar)
- (iv)  $f = 0,56$
- (v)  $f = 3,0$  (untuk sudut tajam) sampai  
1,3 (untuk sudut  $45^\circ$ )
- (vi)  $f = f_1 + 0,3 \cos \theta - 0,2 \cos^2 \theta$

di mana  $f_1$  adalah koefisien bentuk dari ujung masuk dan mengambil harga (i) sampai (v) sesuai dengan bentuk yang dipakai.

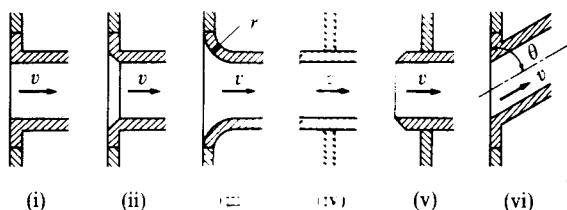
Bila ujung pipa isap memakai mulut lonceng yang tercelup di bawah permukaan air maka harga  $f$  adalah seperti yang diperlihatkan dalam Gb. 2.10.

(b) Koefisien kerugian pada belokan pipa

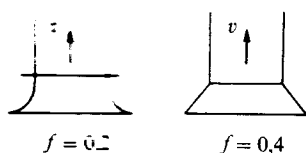
Ada dua macam belokan pipa, yaitu belokan lengkung dan belokan patah (miter atau multipiece bend).

Untuk belokan lengkung sering dipakai rumus Fuller di mana  $f$  dari pers. 2.18 dinyatakan sebagai berikut:

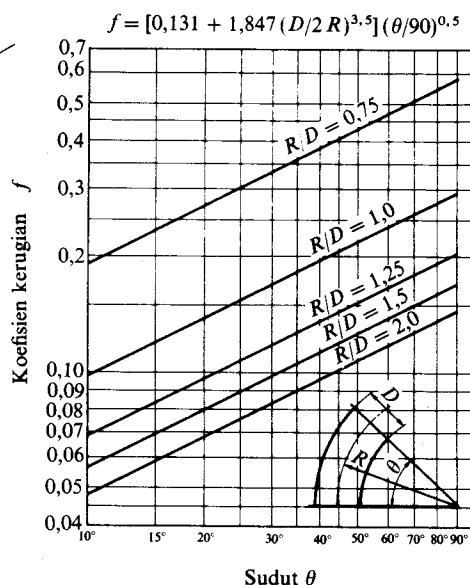




Gb. 2.9 Berbagai bentuk ujung masuk pipa.



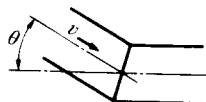
Gb. 2.10 Koefisien kerugian mulut lonceng atau corong pada pipa isap.



Gb. 2.11 Koefisien kerugian pada belokan.

Tabel 2.15 Koefisien kerugian belokan pipa.

	$\theta^\circ$	5	10	15	22,5	30	45	60	90
$f$	Halus	0,017	0,034	0,042	0,066	0,130	0,236	0,471	1,129
	Kasar	0,024	0,44	0,062	0,154	0,165	0,320	0,684	1,265



$$f = \left[ 0,131 + 1,847 \left( \frac{D}{2R} \right)^{3,5} \right] \left( \frac{\theta}{90} \right)^{0,5} \quad (2.19)$$

di mana  $D$ : Diameter dalam pipa (m)

$R$ : Jari-jari lengkung sumbu belokan (m)

$\theta$ : Sudut belokan (derajat)

$f$ : Koefisien kerugian

Hubungan di atas digambarkan dalam diagram seperti diperlihatkan dalam Gb. 2.11.

Dari percobaan Weisbach dihasilkan rumus yang umum dipakai untuk belokan patah sebagai berikut:

$$f = 0,946 \sin^2 \frac{\theta}{2} + 2,047 \sin^4 \frac{\theta}{2} \quad (2.20)$$

di mana  $\theta$ : Sudut belokan

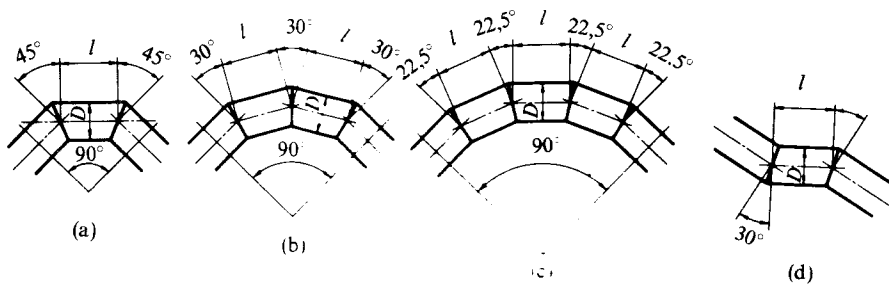
$f$ : Koefisien kerugian

Hubungan antara sudut dan koefisien kerugian diberikan dalam Tabel 2.15.

Adapun koefisien kerugian untuk belokan patah dengan potongan banyak (multiple) diberikan dalam Tabel 2.16.

Tabel 2.16 Koefisien kerugian belokan pipa potongan banyak

$l/D$		0,71	0,943	1,174	1,42	1,86	2,56	3,72	4,98	6,25
a	f	Halus	0,507	0,350	0,333	0,261	0,289	0,356	0,356	0,349
	f	Kasar	0,510	0,415	0,384	0,377	0,390	0,429	0,460	0,455
$l/D$		1,23	1,67	2,37	4,11	6,10				
b	f	Halus	0,195	0,150	0,167	0,190	0,201			
	f	Kasar	0,347	0,300	0,337	0,354	0,360			
$l/D$		1,186	1,40	1,63	1,86	2,325	2,91	3,49	4,65	6,05
c	f	Halus	1,120	0,125	0,124	0,117	0,096	0,108	0,130	0,148
	f	Kasar	0,294	0,252	0,266	0,272	0,317	0,317	0,318	0,310
$l/D$		1,23	1,67	2,37	3,77					
d	f	Halus	0,157	0,156	0,143	0,160				
	f	Kasar	0,300	0,378	0,264	0,242				



(c) Kerugian karena pembesaran penampang secara gradual  
 Dalam hal ini kerugian head dinyatakan sebagai:

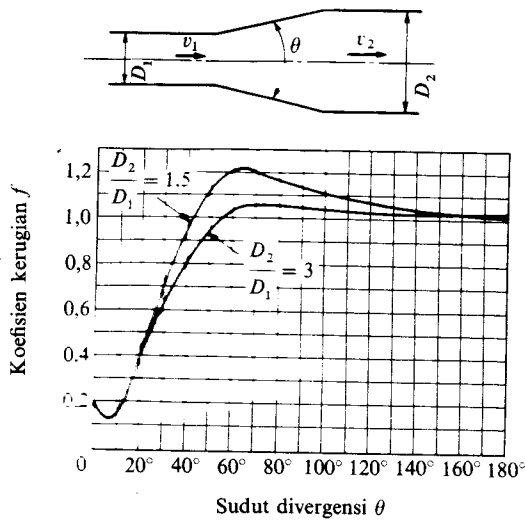
$$h_f = f \frac{(v_1 - v_2)^2}{2g} \quad (2.21)$$

di mana  $v_1$ : Kecepatan rata-rata di penampang yang kecil (m/s)  
 $v_2$ : Kecepatan rata-rata di penampang yang besar (m/s)  
 $f$ : Koefisien kerugian  
 $g$ : Percepatan gravitasi,  $9,8 \text{ m s}^{-2}$   
 $h_f$ : Kerugian head, m

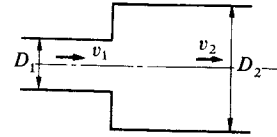
Koefisien kerugian untuk pembesaran penampang secara gradual pada penampang berbentuk lingkaran diberikan dalam Gb. 2.12. Hasil percobaan menunjukkan bahwa harga minimum sebesar 0,135 terjadi bila  $\theta$  adalah sebesar  $5^\circ$  sampai  $6^\circ 30'$ . Juga untuk penampang bujur sangkar, harga minimum sebesar kira-kira 0,145 terjadi pada  $\theta = 6^\circ$ . Harga minimum untuk penampang segi empat sebesar 0,17 sampai 0,18 terjadi pada  $\theta = 11^\circ$ .

(d) Pembesaran penampang pipa secara mendadak

Untuk kasus ini (Gb. 2.13), kerugian head dapat dinyatakan dengan rumus:



Gb. 2.12 Koefisien kerugian pada pembesaran gradual (bentuk difuser).



Gb. 2.13 Koefisien kerugian pada pembesaran mendadak.

$$h_f = f \frac{(v_1 - v_2)^2}{2g} \quad (2.22)$$

di mana  $f \approx 1$

(e) Pengecilan penampang pipa secara mendadak

Kerugian head untuk pengecilan mendadak dapat dinyatakan dengan rumus:

$$h_f = f \frac{v_2^2}{2g} \quad (2.23)$$

di mana harga  $f$  diberikan dalam Tabel 2.17

(f) Orifis dalam pipa

Kerugian head untuk orifis diberikan menurut rumus:

$$h_f = f \frac{v^2}{2g}$$

di mana  $v$  adalah kecepatan rata-rata di penampang pipa. Adapun harga  $f$  diberikan dalam Tabel 2.18.

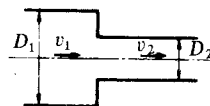
Tabel 2.17 Koefisien kerugian bagian pipa dengan pengecilan penampang secara tiba-tiba.

$(D_1/D_2)^2$	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
$f$	0,50	0,48	0,45	0,41	0,36	0,29	0,21	0,13	0,07	0,01	0

$D_1$ : Diameter pipa besar

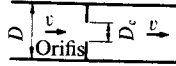
$D_2$ : Diameter pipa kecil

$v_2$ : Kecepatan aliran pada pipa kecil (m/s)

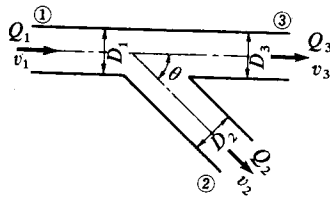


Tabel 2.18 Koefisien kerugian pada orifis dalam pipa.

$D_2/D_1$	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
$f$	$\infty$	226	47,8	17,5	7,8	3,75	1,80	0,80	0,29	0,06	0

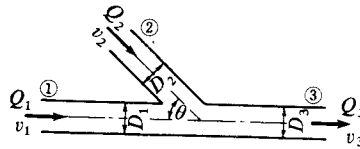


Percabangan



(a)

Pertemuan



(b)

Gb. 2.14 Percabangan dan pertemuan pipa.

## (g) Percabangan dan pertemuan pipa

Dalam masalah percabangan dan pertemuan pipa, tidak ada hasil percobaan yang dapat diterima secara umum. Kerugian head untuk percabangan, Gb. 2.14(a), dapat dinyatakan dalam rumus:

$$h_{f_{1-2}} = f_1 \frac{v_1^2}{2g}$$

$$h_{f_{1-3}} = f_2 \frac{v_2^2}{2g}$$

(2.24)

di mana  $h_{f_{1-2}}$ : Kerugian head cabang 1 ke 2 (m)

$h_{f_{1-3}}$ : Kerugian head cabang 1 ke 3 (m)

$v_1$ : Kecepatan di 1 sebelum percabangan (m/s)

$f_1, f_2$ : Koefisien kerugian

Kerugian head untuk pertemuan, Gb. 2.14(b), dapat dinyatakan dengan rumus:

$$h_{f_{1-2}} = f_1 \frac{v_1^2}{2g}$$

$$h_{f_{2-3}} = f_2 \frac{v_2^2}{2g}$$

(2.25)

di mana  $h_{f_{1-2}}$ : Kerugian head temu dari 1 ke 2 (m)

$h_{f_{2-3}}$ : Kerugian head temu dari 2 ke 3 (m)

$v_3$ : Kecepatan di 3 setelah pertemuan (m)

$f_1, f_2$ : Koefisien kerugian

Koefisien kerugian percabangan dan pertemuan pada rumus-rumus di atas diberikan dalam Tabel 2.19. Harga-harga dalam tabel ini adalah untuk jari-jari lengkung  $R = 0$  pada perpotongan antara kedua bagian pipa. Koefisien kerugian ini dapat banyak dikurangi jika pada perpotongan diberi jari-jari lengkung.

Tabel 2.19 Koefisien kerugian untuk percabangan dan pertemuan.  $f_1$  dan  $f_2$ .

$f_1$ dan $f_2$ untuk permukaan dalam yang halus dari pipa dan sudut antara pipa: $R = 0$	Rumus percabangan (2.23)							Rumus pertemuan (2.24)						
	$Q_2/Q_1$							$Q_2/Q_3$						
	0	0.2	0.4	0.6	0.8	1.0		0	0.2	0.4	0.6	0.8	1.0	
$D_1 = D_2$ (percobaan untuk 43 mm). $D_1 = D_2$	90	$f_1$	0.05	-0.08	-0.05	0.07	0.21	0.35	0.04	0.18	0.30	0.40	0.50	0.60
		$f_2$	0.89	0.88	0.89	0.96	1.10	1.29	-1.01	-0.41	0.08	0.46	0.72	0.91
	60	$f_1$	0.05	-0.05	-0.02	0.07	0.20	0.34	0.04	0.24	0.31	0.24	0.10	-0.18
		$f_2$	0.89	0.80	0.64	0.57	0.60	0.75	-0.93	-0.30	0.13	0.40	0.57	0.66
	45	$f_1$	0.04	-0.07	-0.04	0.06	0.20	0.33	0.04	0.17	0.18	0.06	-0.17	-0.54
		$f_2$	0.89	0.67	0.50	0.37	0.33	0.47	-0.91	-0.57	0	0.22	0.37	0.37
	90	$f_1$	0.20	-0.15	-0.05	0.05	0.20	0.30	0.30	0.50	0.77	1.00	1.25	1.50
		$f_2$	1.30	1.50	2.35	4.30	—	—	-0.70	0.20	0.25	2.75	4.75	7.30
	60	$f_1$	0.03	-0.03	0.02	0.11	0.24	0.39	0	0.20	0.30	-0.30	-0.80	-1.70
		$f_2$	0.90	0.70	0.80	1.50	2.70	4.60	-0.90	0	0.30	2.50	4.40	6.65
	40	$f_1$	0	-0.05	-0.03	0.07	0.20	0.35	0	0.10	-0.20	-0.70	-1.50	-2.89
		$f_2$	0.92	0.50	0.60	1.30	2.80	5.00	-1.00	-0.10	0.75	2.10	3.70	5.53

$D_1, D_2, D_3$ : Diameter dari pipa ①, ② dan ③.

$Q_1, Q_2, Q_3$ : Kapasitas aliran pipa ①, ② dan ③.

#### (h) Ujung keluar pipa

Kerugian keluar pada ujung pipa keluar diberikan menurut rumus:

$$h_f = f \frac{v^2}{2g} \quad (2.26)$$

di mana  $f = 1,0$  dan " $v$ " adalah kecepatan rata-rata di pipa ke luar.

#### (3) Kerugian head di katup

Kerugian head pada katup dapat ditulis sebagai berikut:

$$h_v = f_v \frac{v^2}{2g} \quad (2.27)$$

di mana  $v$ : Kecepatan rata-rata di penampang masuk katup (m/s)

$f_v$ : Koefisien kerugian katup

$h_v$ : Kerugian head katup (m)

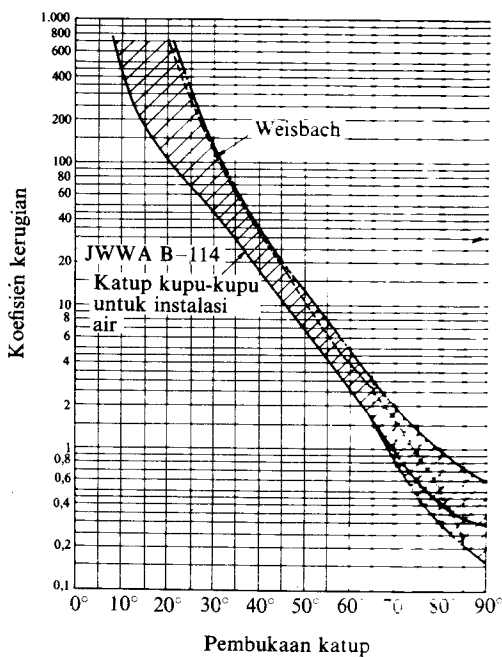
Harga  $f_v$  untuk berbagai jenis katup dalam keadaan terbuka penuh diberikan dalam Tabel 2.20. Adapun hubungan antara derajat pembukaan dan koefisien gesekan katup-katup utama, diberikan dalam Gb. 2.15.

#### (4) Panjang pipa ekuivalen dari peralatan pipa

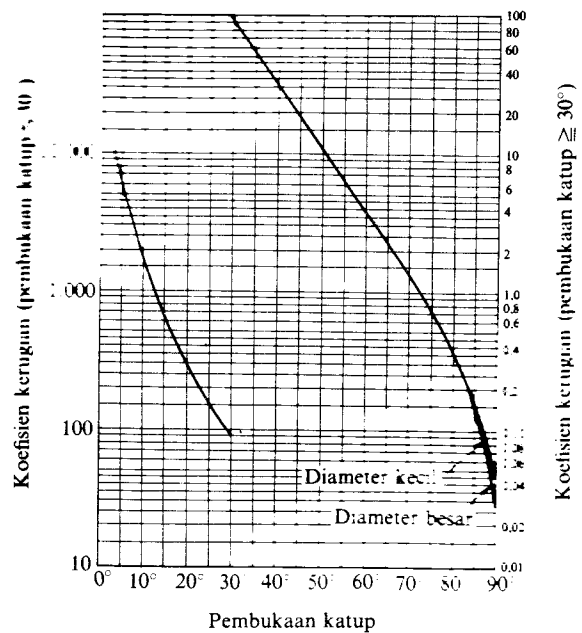
Dalam menghitung kerugian pada pipa dengan diameter kecil, akan sangat mudah apabila dipakai panjang pipa lurus ekuivalen  $L_f$ . Besaran ini menyatakan kerugian dalam peralatan pipa (sambungan, belokan, katup, dsb) dalam ukuran panjang ekuivalen dari

Tabel 2.20 Koefisien kerugian dari berbagai katup.

	100	150	200	250	300	400	500	600	700	800	900	1.000	1.200	1.350	1.500	1.750	2.000			
Katup bola	0,14	0,12	0,10	0,09	0,07	= 0														
0,6–0,16 (bervariasi menurut konstruksi dan diameternya)																				
Katup bola	0,09–0,026 (bervariasi menurut diameternya)																			
Katup bola			1,2	1,15	1,1	1,0	0,98	0,96	0,94	0,92	0,9	0,88								
Katup cekam tutup-cepat jenis tekanan			1,2	1,15	1,1	1,0	0,9	0,8	0,7	0,6	0,5	0,4								
Katup cekam jenis angkat bebas	1,44	1,39	1,34	1,3	1,2															
Katup cekam tutup-cepat jenis pegas	7,3	6,6	5,9	5,3	4,6															
Katup kepak	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0,9–0,5 (bervariasi menurut diameternya)										
Katup isap (dengan saringan)	1,97	1,91	1,84	1,78	1,72															

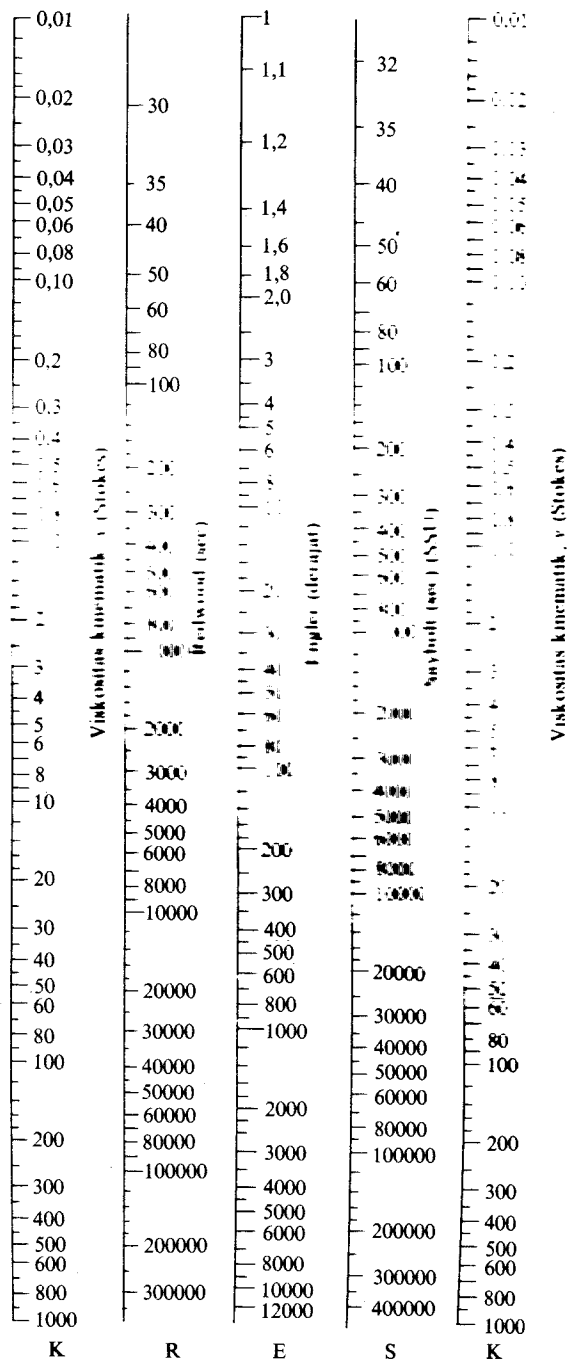


(a) Koefisien kerugian pada katup kupu-kupu



(b) Koefisien kerugian pada katup putar

Gb. 2.15 Pembukaan katup dan koefisien kerugian pada katup-katup utama.



- (1) Cara memakai diagram : Hubungkan harga-harga yang sama pada skala K dengan sebuah garis mendatar. Maka berbagai viskositas yang lain dapat diperoleh pada skala-skala yang bersangkutan. Skala K mempunyai satuan Stokes, di mana 1 Stokes =  $10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$ .
- (2) Cara menghitung viskositas kinematik ( $\text{m}^2/\text{s}$ ) dari viskositas absolut (Poise) dilakukan seperti contoh berikut : Misalkan viskositas absolut = 0,24 Poise dan berat jenis zat cair = 0,85 ( $\rho = 850 \text{ kg/m}^3$ ), maka viskositas kinematiknya  $\nu = 0,24/0,85 = 0,28 \text{ Stokes} = 0,28 \times 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$ .

Gb. 2.16 Diagram konversi antara berbagai viskositas.

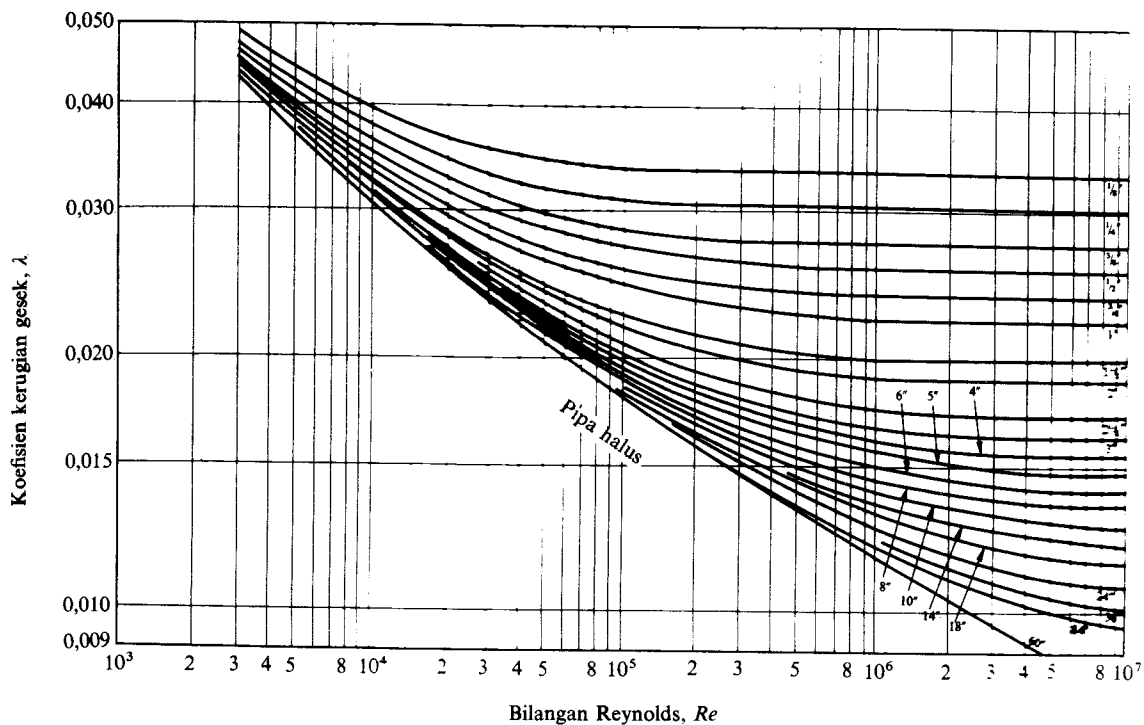
Tabel 2.21 Panjang pipa lurus ekuivalen  $L_f$ 

Nama peralatan pipa	Panjang pipa lurus ekuivalen $L_f$	Panjang pipa lurus ekuivalen $L_f$
Belokan 45° (1"-3")	15-20 $d$	135-400 $D$
Belokan 90° (jari-jari engkung standar)	32 $D$	200-300 $D$
Belokan ( $R/D = 3$ ) 90° ( $R/D = 4$ )	24 $D$ 10 $D$	100-150 $D$ 100-200 $D$
Belokan 180°	75 $D$	450 $D$
Sambungan silang Sambungan -T	50 $D$ 40-80 $D$	150 $D$ 150 $D$
Meteran air jenis torak	600 $DD$	

pipa lurus. Harga-harga  $L_f$  untuk berbagai peralatan pipa yang umum, diberikan dalam Tabel 2.21.

(5) Head kerugian gesek untuk zat cair istimewa

Untuk menghitung kerugian head pada pipa yang mengalirkan zat cair bukan air, dapat dilakukan sebagai berikut. Mula-mula harus dihitung bilangan Reynolds  $Re$  dan aliran. Kemudian kerugian head ditentukan dengan cara seperti pada air di mana koefisien kerugian gesek diambil untuk bilangan Reynolds yang bersangkutan.



Gb. 2.17 Bilangan Reynolds dan koefisien gesek.  
(angka-angka menunjukkan diameter dalam pipa).



Seperti telah dinyatakan dalam Pers. 2.13, bilangan Reynolds adalah

$$Re = \frac{vD}{\nu}$$

Apabila viskositas zat cair yang mengalir dinyatakan sebagai viskositas mutlak  $\mu$ , maka harga viskositas kinematiknya  $\nu = \frac{\mu}{\rho}$  dapat diperoleh dari hubungan

$$\nu = \frac{\mu}{\rho} \quad (2.28)$$

di mana  $\mu$ : Viskositas mutlak dari zat cair kg/m s.

$$1 \text{ kg/m s} = 10 \text{ Poise}$$

$$\rho \text{ : Massa dari zat per satuan volume atau rapat massa kg/m}^3$$

Apabila viskositas dinyatakan dalam satuan Redwood sec. Engler (derajat), atau Saybolt (SSU) sec. maka harga viskositas kinematiknya dapat diperoleh dari Gb. 2.16. Dalam gambar ini, dua skala di tepi kiri dan kanan yang bertanda K di bawahnya menunjukkan skala viskositas kinematik dalam stokes ( $1 \text{ stokes} = 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$ ). Skala di antaranya menyatakan detik Redwood (bertanda R), derajat Engler (bertanda E) dan detik Saybolt atau SSU (bertanda S).

Dari bilangan Reynolds yang diperoleh dengan cara perhitungan tersebut di atas maka koefisien kerugian gesek dapat ditentukan sebagai berikut:

Untuk aliran laminar ( $Re < 2300$ ) harga  $\lambda$  dihitung menurut pers. 2.14.

Untuk aliran turbulen ( $Re > 4000$ ) harga  $\lambda$  dapat diperoleh dari Gb. 2.17.

Dengan harga  $\lambda$  yang diperoleh, selanjutnya dapat dihitung kerugian head gesek menurut pers. 2.12.

### 2.4.3 Contoh

Sebuah instalasi pompa diperlukan untuk menaikkan air dengan selisih permukaan antara sisi isap dan sisi keluar sebesar 25 m. Tekanan yang bekerja pada kedua permukaan tersebut adalah tekanan atmosfer. Air dipompakan dengan kapasitas  $0,7 \text{ m}^3/\text{menit}$  melalui pipa baja dengan diameter dalam 100 mm. Panjang pipa seluruhnya 40 m di mana terdapat lima buah belokan  $90^\circ$  ( $R/D = 1$ ). Pada ujung isap pipa dipasang katup isap dengan saringan. Ditanyakan: Berapakah head total pompa yang diperlukan?

#### Jawaban

(1) Head kerugian gesek untuk pipa lurus menurut pers. 2.17 adalah

$$h_f = \frac{10,666 Q^{1,85}}{C^{1,85} \cdot D^{4,85}}$$

Dengan:  $Q = 0,7 \text{ m}^3/\text{min} = 0,01167 \text{ m}^3/\text{s}$

$C$  diambil = 100 (untuk pipa tua)

$D = 100 \text{ mm} = 0,1 \text{ m}$

$L = 40 \text{ m}$

maka

$$\begin{aligned} h_f &= \frac{10,666 \times 0,001167^{1,85}}{100^{1,85} \times 0,1^{4,85}} \times 40 \\ &= 1,6 \text{ m} \end{aligned}$$

Hasil ini juga dapat diperoleh dari Gb. 2.5 di mana untuk  $Q = 0,01167 \text{ m}^3/\text{s}$  dan  $D = 100 \text{ mm}$ , didapat  $h_f = 40 \text{ m}$  per 1000 m panjang pipa, atau  $h_f = 1,6 \text{ m}$  untuk  $L = 40 \text{ m}$ .

2. Kerugian pada satu belokan  $90^\circ$   
 Menurut pers 2.19

$$f = 0,131 + 1,847 \left( \frac{D}{2R} \right)^{3,5} \left( \frac{\theta}{90} \right)^{0,5}$$

Dengan  $D/R = 1$

$$v = \frac{Q}{\frac{\pi}{4} D^2} = \frac{0,01167}{\frac{\pi}{4} (0,1)^2} = 1,49 \text{ m/s}$$

$$\theta = 90^\circ$$

$$\begin{aligned} \text{maka } f &= 0,131 + 1,847 \left( \frac{1}{2} \right)^{3,5} \left( \frac{90}{90} \right)^{0,5} \\ &= 0,294 \end{aligned}$$

dan

$$h_f = f \frac{v^2}{2g} = 0,294 \times \frac{1,49^2}{2(9,8)} = 0,033 \text{ m}$$

- (3) Kerugian pada katup isap dengan saringan

Dari Tabel 2.20, untuk diameter 100 mm diperoleh  $f = 1,97$ . Maka

$$h_f = f \frac{v^2}{2g} = 1,97 \times \frac{1,49^2}{2(9,8)} = 0,223 \text{ m}$$

- (4) Head kecepatan keluar

$$\frac{v_d^2}{2g} = \frac{1,49^2}{2(9,8)} = 0,113 \text{ m}$$

- (5) Head total pompa

Dari pers. 2.6

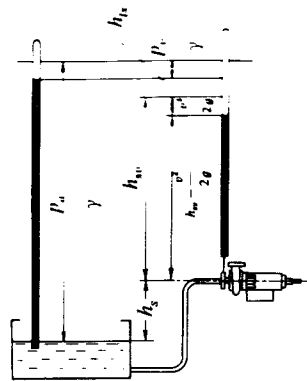
$$\begin{aligned} H &= h_a + \Delta h_p + h_f - \frac{v^2}{2g} \\ &= 25 + 0 + 1,6 + 0,033 + 0,223 + 0,113 \\ &= 27,1 \text{ m} \end{aligned}$$

## 2.5 Head Isap Positif Neto atau NPSH\*

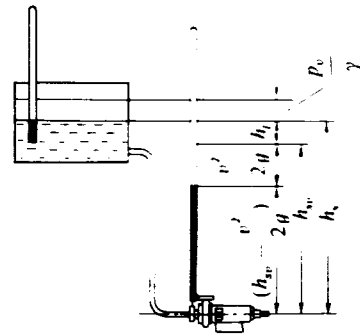
Seperti diuraikan dalam pasal 1.5, kavitasi akan terjadi bila tekanan statis suatu aliran zat cair turun sampai di bawah tekanan uap jenuhnya. Jadi, untuk menghindari kavitasi, harus diusahakan agar tidak ada satu bagianpun dari aliran di dalam pompa yang mempunyai tekanan statis lebih rendah dari tekanan uap jenuh cairan pada temperatur yang bersangkutan. Dalam hal ini perlu diperhatikan dua macam tekanan yang memegang peranan. Pertama, tekanan yang ditentukan oleh kondisi lingkungan di mana pompa dipasang, dan kedua, tekanan yang ditentukan oleh keadaan aliran di dalam pompa.

---

\* NPSH=Net Positive Suction Head



Gb. 2.18 NPSH, bila tekanan atmosfer bekerja pada permukaan air yang diisap.



Gb. 2.19 NPSH, bila tekanan uap bekerja di dalam tangki air isap yang tertutup.

Berhubung dengan hal tersebut di atas maka orang mendefinisikan suatu Head Isap Positif Neto atau NPSH, yang dipakai sebagai ukuran keamanan pompa terhadap kavitasi. Di bawah ini akan diuraikan dua macam NPSH, yaitu NPSH yang tersedia pada sistem (instalasi), dan NPSH yang diperlukan oleh pompa.

### 2.5.1 NPSH Yang Tersedia

NPSH yang tersedia ialah: head yang dimiliki oleh zat cair pada sisi isap pompa (ekivalen dengan tekanan mutlak pada sisi isap pompa), dikurangi dengan tekanan uap jenuh zat cair di tempat tersebut.

Dalam hal pompa yang mengisap zat cair dari tempat terbuka (dengan tekanan atmosfer pada permukaan zat cair) seperti diperlihatkan dalam Gb. 2.18, maka besarnya NPSH yang tersedia dapat ditulis sebagai berikut:

$$h_{st} = \frac{p_a}{\gamma} - \frac{p_v}{\gamma} - h_s - h_{fr} \rightarrow \text{aksesories} \quad (2.29)$$

di mana,  $h_{st}$ : NPSH yang tersedia (m)

$p_a$ : Tekanan atmosfer ( $\text{kgf/m}^2$ )

$p_v$ : Tekanan uap jenuh ( $\text{kgf/m}^2$ )

$\gamma$ : Berat zat cair per satuan volume ( $\text{kgf/m}^3$ )

$h_s$ : Head isap statis =

$h_s$  adalah positif bernilai - jika pompa terletak di atas permukaan zat cair yang diisap, dan negatif bernilai - jika di bawah.

$h_{fr}$ : Kerugian head di dalam pipa isap =

Dari pers. 2.29 dapat dilihat bahwa NPSH yang tersedia merupakan tekanan absolut yang masih tersisa pada sisi isap pompa setelah dikurangi tekanan uap. Besarnya hanya tergantung pada kondisi luar pompa di mana pompa dipasang. Tinggi isap  $h_s$  biasanya diukur dari permukaan zat cair sampai sumbu poros pompa (untuk pompa dengan poros mendatar) atau sampai titik tertinggi pada lubang isap impeler (pada pompa dengan poros tegak).

Jika zat cair diisap dari tangki tertutup seperti diperlihatkan dalam Gb. 2.19, maka  $p_a$  dalam pers. (2.29) menyatakan tekanan mutlak yang bekerja pada permukaan zat cair di dalam tangki tertutup tersebut. Khususnya jika tekanan di atas permukaan zat

dan dengan tekanan uap jenuhnya, maka  $p_a = p_v$  sehingga pers. 2.29 akan menjadi

$$h_{sv} = -h_s - h_{ls} \quad (2.30)$$

Dalam Gb. 2.19  $h_s$  adalah negatif (-) karena permukaan zat cair di dalam tangki lebih tinggi dari pada sisi isap pompa. Pemasangan pompa semacam ini diperlukan untuk mendapatkan harga  $h_{sv}$  (atau NPSH) positif.

### Contoh

Air bersih dengan temperatur 30°C harus dipompa pada tekanan atmosfir sebesar 1.0332 kgf/cm<sup>2</sup>. Lubang isap pompa terletak 4 m di atas permukaan air. Berapakah besar NPSH yang tersedia jika kerugian head pipa isap adalah 0,2 m?

### Jawaban

$$p_a = 1,0332 \text{ kgf/cm}^2 = 10332 \text{ kgf/m}^2$$

Dari Tabel 2.12,

$$\gamma = 0,9957 \text{ kgf/l} = 995,7 \text{ kgf/m}^3$$

$$p_v = 0,04325 \text{ kgf/cm}^2 = 432,5 \text{ kgf/m}^2$$

Dari pers. (2.29)

$$\begin{aligned} h_{sv} &= \frac{p_a}{\gamma} - \frac{p_v}{\gamma} - h_s - h_{ls} \\ &= \frac{10332}{995,7} - \frac{432,5}{995,7} - 4 - 0,2 = 5,74 \text{ m} \end{aligned}$$

### 2.5.2 NPSH yang Diperlukan

Tekanan terendah di dalam pompa biasanya terdapat di suatu titik dekat setelah sisi masuk sudu impeler. Di tempat tersebut, tekanan adalah lebih rendah dari pada tekanan pada lubang isap pompa. Hal ini disebabkan oleh kerugian head di nosel isap, kenaikan kecepatan aliran karena luas penampang yang menyempit, dan kenaikan kecepatan aliran karena tebal sudu setempat.

Jadi, agar tidak terjadi penguapan zat cair, maka tekanan pada lubang masuk pompa, dikurangi penurunan tekanan di dalam pompa, harus lebih tinggi dari pada tekanan uap zat cair. Head tekanan yang besarnya sama dengan penurunan tekanan ini disebut NPSH yang diperlukan. Besarnya NPSH yang diperlukan berbeda untuk setiap pompa. Untuk suatu pompa tertentu, NPSH yang diperlukan berubah menurut kapasitas dan putarannya.

Agar pompa dapat bekerja tanpa mengalami kavitasi, maka harus dipenuhi persyaratan berikut:

NPSH yang tersedia > NPSH yang diperlukan

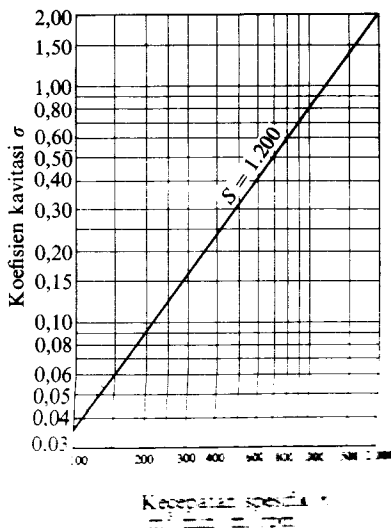
$$NPSH_a > NPSH_r$$

Harga NPSH yang tersedia dapat dihitung dari kondisi instalasi menurut Pers. (2.29) dan (2.30), sedangkan harga NPSH yang diperlukan harus diperoleh dari pabrik pompa yang bersangkutan. Namun, untuk penaksiran secara kasar, NPSH yang diperlukan dapat dihitung dari konstanta kavitasi  $\sigma$  seperti diuraikan di bawah ini.

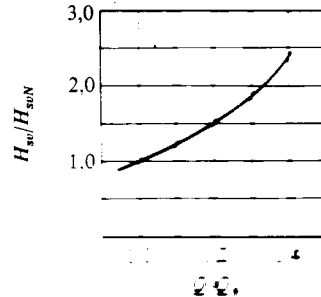
Jika head total pompa pada titik efisiensi maksimum dinyatakan sebagai  $H_N$ , dan NPSH yang diperlukan untuk titik ini  $H_{svN}$ , maka  $\sigma$  didefinisikan sebagai

$$\sigma = \frac{H_{svN}}{H_N} \quad (2.31)$$

Bilangan  $\sigma$  ini disebut "koefisien kavitasi Thoma".



Gb. 2.20 Hubungan antara koefisien kavitasi dan kecepatan spesifik.



Gb. 2.21 NPSH yang diperlukan dari titik efisiensi tertinggi ke kapasitas besar.

Dari persamaan diketahui bahwa harga  $\sigma$  menunjukkan ketergantungan terhadap  $n_s$  untuk pompa-pompa yang mempunyai bentuk umum. Dalam hal ini  $\sigma$  dapat ditentukan dari Gb. 2.20 dan NPSH diperlukan dapat ditaksir sebagai berikut:

$$\text{NPSH yang diperlukan} = H_{svN} = \sigma H_N \quad (2.32)$$

Sering kali orang menggunakan bilangan "kecepatan spesifik isap"  $S$  sebagai pengganti perhitungan dengan  $\sigma$ . Adapun definisi kecepatan spesifik isap adalah sebagai berikut:

$$S = n \frac{Q_N^{1/2}}{H_{svN}^{3/4}} \quad (2.33)$$

Jika  $Q_N$  dinyatakan dalam  $\text{m}^3/\text{min.}$ ,  $H_{svN}$  dalam  $m$ , dan  $n$  dalam rpm maka harga  $S$  untuk pompa-pompa berbentuk umum adalah sebesar 1200. Harga ini tidak tergantung pada  $n_s$ . Maka  $H_{svN}$  dapat ditentukan dari pers. (2.33):

$$H_{svN} = \left( \frac{n}{S} \right)^{4/3} Q_N^{2/3} \quad (2.34)$$

Adapun antara  $S$  dan  $\sigma$  terdapat hubungan sebagai berikut:

$$S = n \frac{Q_N^{1/2}}{H_{svN}^{3/4}} = \frac{n_s H_N^{3/4}}{H_{svN}} = \frac{n_s H_N^{3/4}}{(\sigma H_N)^{3/4}} = \frac{n_s}{\sigma^{3/4}} \quad (2.35)$$

Semua rumus di atas berlaku untuk titik efisiensi tertinggi. Jika titik kerja pompa berada di luar titik efisiensi terbaik ini, maka sudut aliran masuk dan sudut sudu tidak sesuai lagi. Khususnya, jika kapasitas menjadi lebih besar, maka kecepatan aliran juga bertambah besar. Dalam hal demikian, penurunan tekan pada sisi masuk sudu menjadi lebih besar, sehingga NPSH yang diperlukan juga menjadi naik. Hal ini perlu diperhatikan secara khusus jika pompa harus bekerja pada kapasitas yang lebih besar dari pada kapasitas titik efisiensi optimumnya. Perubahan NPSH yang diperlukan sangat tergantung pada bentuk pompa. Namun untuk penaksiran kasar dapat digunakan Gb.

**Contoh**

Sebuah pompa jenis isapan tunggal satu tingkat mempunyai kapasitas pada titik efisiensi terbaik sebesar  $Q_N = 0,7 \text{ m}^3/\text{min}$  dan head  $H_N = 28 \text{ m}$  serta putaran  $n = 2910$ . Tentukan NPSH yang diperlukan untuk kapasitas 100% dan 120% kapasitas pada efisiensi terbaik.

**Jawaban**

Dari Pers. (1.7), kecepatan spesifik  $n_s$  pada efisiensi terbaik adalah

$$n_s = n \frac{Q_N^{1/2}}{H_N^{3/4}} = 2910 \times \frac{0,7^{1/2}}{28^{3/4}} = 200$$

Dari Gb. 2.20,  $\sigma = 0,092$  untuk  $n_s = 200$ . Maka menurut Pers. (2.32), NPSH yang diperlukan ( $H_{sv}$ ) pada titik efisiensi terbaik adalah

$$H_{svN} = \sigma H_N = 0,092 \times 28 = 2,58 \text{ m}$$

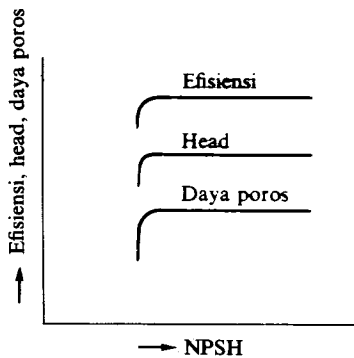
Dalam Gb. 2.21 untuk  $Q/Q_N = 1,2$ ,  $H_{sv}/H_{svN} = 1,5$

Jadi NPSH yang diperlukan pada titik 120%  $Q_N$  adalah:

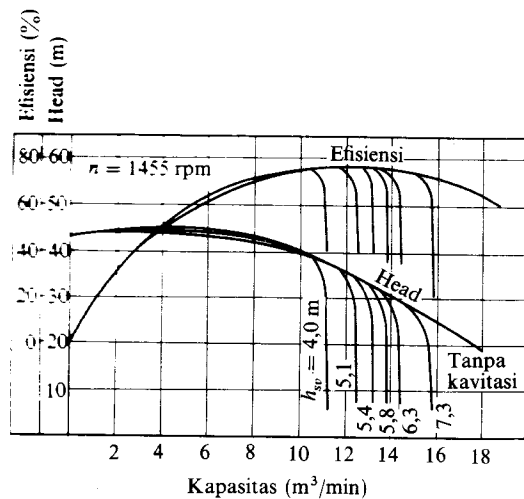
$$H_{sv} = 1,5 H_{svN} = 1,5 \times 2,58 = 3,87 \text{ m}$$

**2.5.3 NPSH Dan Performansi Pompa**

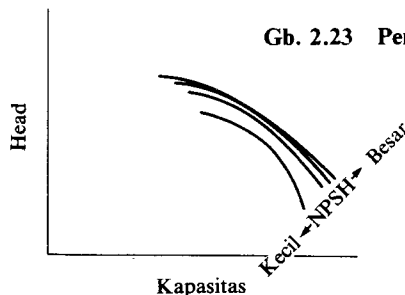
Ada dua cara untuk memeriksa secara eksperimental pengaruh NPSH pada performansi pompa. Cara pertama: dengan kapasitas dijaga tetap, harga NPSH yang tersedia divariasikan seperti pada Gb. 2.22; kemudian perubahan head total pompa,



Gb. 2.22 Performansi kavitasi pada kapasitas tetap.



Gb. 2.23 Performansi kavitasi dari pompa volut isapan tunggal.



Gb. 2.24 Performansi kavitasi dari pompa aliran aksial dan pompa aliran campur.

daya poros, dan efisiensi diperiksa. Cara kedua: mengukur efisiensi pompa dengan memakai NPSH sebagai parameter seperti diperlihatkan dalam Gb. 2.23; kemudian perubahan kurva performansi karena perubahan NPSH diperiksa.

Perubahan performansi pompa terhadap perubahan NPSH tergantung pada  $n_s$  pompa yang bersangkutan. Pompa dengan  $n_s$  rendah mempunyai kurva performansi yang cenderung menurun secara tiba-tiba di daerah kapasitas besar di mana NPSH menjadi kecil seperti diperlihatkan dalam Gb. 2.24.

Pada kedua metoda tersebut di atas, NPSH ( $H_{st}$ ) pada titik di mana performansi mulai menurun merupakan harga NPSH yang diperlukan. Namun pengukuran titik ini secara cermat adalah sangat sukar, sehingga NPSH diperlukan dalam banyak hal ditetapkan pada titik di mana performansi menurun 3°.

#### 2.5.4 Berbagai Pengaruh Pada NPSH Yang Diperlukan

Seperti telah diutarakan dalam butir 2.5.1, NPSH yang tersedia tergantung pada berbagai faktor seperti atmosfir (tekanan yang bekerja pada permukaan zat cair), tekanan uap, head isap statis, dsb. Adapun besar pengaruh faktor-faktor tersebut tidaklah tetap melainkan tergantung pada berbagai hal, seperti diuraikan di bawah ini.

##### (1) Pengaruh temperatur zat cair

Karena tekanan uap zat cair dapat berubah menurut temperaturnya maka NPSH yang tersedia juga dapat bervariasi sesuai dengan perubahan temperatur zat cair yang diisap. Khususnya, jika temperatur cukup tinggi, beberapa langkah pengamanan tertentu perlu diambil karena NPSH yang tersedia menjadi sangat rendah. Hubungan antara temperatur air dan tekanannya ditunjukkan dalam Tabel 2.12.

##### (2) Pengaruh sifat zat cair

Tekanan uap juga tergantung pada jenis zat cair yang dipompa. Jadi NPSH yang tersedia harus ditentukan dengan menggunakan data tekanan uap zat cair yang bersangkutan. Harga-harga tekanan uap berbagai zat cair yang sering dijumpai, diberikan dalam Gb. 2.16.

##### (3) Pengaruh tekanan pada permukaan zat cair yang diisap

Tekanan ini akan secara langsung mempengaruhi NPSH yang tersedia. Kasus yang menyangkut zat cair yang diisap dari dalam tangki tertutup telah dibahas dalam uraian terdahulu. Namun, kewaspadaan perlu dijaga untuk pompa yang dipakai di tempat yang tinggi, karena tekanan atmosfir di situ rendah.

Hubungan antara ketinggian dan tekanan atmosfir standar diberikan menurut rumus berikut ini:

Tabel 2.22 Ketinggian dan tekanan atmosfir.

Ketinggian (m)	0	100	200	300	400	500	600	800	1000	1200	1400	1600	1800	2000
Tekanan atmosfir (mH <sub>2</sub> P)	10,33	10,21	10,09	9,97	9,85	9,73	9,62	9,39	9,16	8,94	8,73	8,51	8,31	8,10

$$F_s = 10,33 \left[ 1 - \frac{0,0065h}{288} \right]^{5,256}$$

di mana  $P_a$ : Tekanan atmosfer standar (m H<sub>2</sub>O)

$h$ : Ketinggian di atas muka laut (m)

Ketinggian di atas diberikan dalam Tabel 2.22.

### 2.5.5 Pencegahan Kavitasi

Kavitasi pada dasarnya dapat dicegah dengan membuat NPSH yang tersedia lebih besar dari pada NPSH yang diperlukan, seperti diuraikan dalam butir 2.5.2. Dalam hal ini, mengecilkan NPSH yang diperlukan merupakan salah satu cara, yang dapat diusahakan oleh pihak pabrik pompa. Di pihak lain, menaikkan NPSH yang tersedia harus diusahakan oleh pemakai pompa.

Dalam perencanaan instalasi pompa, hal-hal berikut ini harus diperhitungkan untuk menghindari kavitasi.

- 1) Ketinggian letak pompa terhadap permukaan zat cair yang diisap harus dibuat serendah mungkin agar head isap statis menjadi rendah pula.
- 2) Pipa isap harus dibuat sependek mungkin. Jika terpaksa dipakai pipa isap yang panjang, sebaiknya diambil pipa yang berdiameter satu nomor lebih besar untuk mengurangi kerugian gesek.
- 3) Sama sekali tidak dibenarkan untuk memperkecil laju aliran dengan menghambat aliran di sisi isap.
- 4) Jika pompa mempunyai head total yang berlebihan, maka pompa akan bekerja dengan kapasitas aliran yang berlebihan pula, sehingga kemungkinan akan terjadi kavitasi menjadi lebih besar. Karena itu head total pompa harus ditentukan sedemikian hingga sesuai dengan yang diperlukan pada kondisi operasi yang sesungguhnya.
- 5) Bila head total pompa sangat berfluktuasi, maka pada keadaan head terendah harus diadakan pengamanan penuh terhadap terjadinya kavitasi. Namun, dalam beberapa hal terjadinya sedikit kavitasi yang tidak mempengaruhi performansi sering tidak dapat dihindari sebagai akibat dari pertimbangan ekonomis. Dalam hal ini perlu dipilih bahan impeler yang tahan erosi karena kavitasi.

## 2.6 Penentuan Putaran Dan Jenis Pompa

Jika kapasitas, head total pompa, dan NPSH yang tersedia dari suatu pompa telah ditentukan, maka putaran dan jenis pompa dapat ditentukan pula. Dalam hal ini, sebuah pompa besar atau pompa khusus harus dipilih sedemikian rupa hingga dapat memenuhi kapasitas dan head total yang diminta. Namun, untuk pompa-pompa berukuran kecil atau sedang, adalah lebih ekonomis jika dipilih dari pompa-pompa standar atau yang diproduksi secara masal.

### 2.6.1 Proses Pemilihan Putaran Dan Jenis Pompa

#### (1) Putaran pompa

Putaran pompa harus ditentukan menurut prosedur berikut ini.

- (a) Jika akan dipakai motor listrik sebagai penggerak pompa, maka putaran harus dipilih dari putaran standar yang ada untuk motor-motor semacam itu. Putaran-putaran sinkron untuk sumber tenaga dengan frekuensi 50 Hz adalah seperti yang diberikan dalam Tabel 2.23. Jika akan dipakai motor induksi, putarannya harus diambil



Tabel 2.23 Putaran sinkron motor listrik.

Jumlah kutub	Putaran sinkron
2	3000 rpm
4	1500
6	1000
8	750
10	600
12	500

1 sampai 2% lebih kecil dari harga-harga dalam tabel tersebut karena adanya slip. Karena pompa-pompa pada umumnya direncanakan atas dasar putaran motor listrik, maka cara yang sama juga diperlukan meskipun motor listrik tidak dipakai sebagai penggerak.

(b) Dengan memakai putaran  $n$  yang sudah dipilih, maka kapasitas normal  $Q_N$ , head total normal  $H_N$ , dan harga  $n$ , dapat dihitung dengan Pers. (1.7).

(c) Konstanta kavitasi  $\sigma$  kemudian dipilih sesuai dengan harga  $n$ , yang bersangkutan menurut Gb. 2.20. Kemudian NPSH yang diperlukan  $H_{NPSH}$  dihitung dari Pers. (2.32).

(d) Jika pompa diperkirakan akan bekerja pada kapasitas besar melebihi titik efisiensi maksimum, maka laju kenaikan  $H_N$  yang berhubungan dengan kapasitas maksimum harus diperiksa dalam Gb. 2.21. Kemudian NPSH yang diperlukan dalam daerah operasi dapat ditentukan.

e. Jika NPSH yang diperlukan sesuai atau lebih kecil dari pada NPSH yang tersedia maka pompa yang akan dipilih kemudian terdahulu sudah terpenuhi. Jika persyaratan ini tidak dipenuhi maka dipilih putaran yang lebih rendah. Sebaliknya jika NPSH yang tersedia jauh lebih besar dari pada yang diperlukan, maka dapat dipilih putaran yang lebih tinggi.

(f) Perlu diperiksa pula apakah harga  $n$ , yang dipilih menurut putarannya, masih ada dalam daerah yang sesuai dengan jenis pompa yang bersangkutan. (Lihat Gb. 1.3).

## (2) Jenis pompa

Dalam beberapa hal, untuk kapasitas dan head total pompa yang diperlukan, terdapat lebih dari satu jenis pompa yang dapat dipilih. Berhubung dengan hal itu maka perlu diambil langkah-langkah berikut ini dalam pemilihan.

### (a) Poros mendatar dan poros tegak

Sifat-sifat kedua jenis poros ini diperlihatkan dalam Tabel 2.24, dan pemilihannya

Tabel 2.24 Perbandingan karakteristik antara pompa dengan poros mendatar dan poros tegak.

Hal yang diperbandingkan	Jenis poros mendatar	Jenis poros tegak	Keterangan
Memancing sebelum start	Diperlukan	Tidak diperlukan	Untuk kerja mengisap Untuk kerja mengisap
NPSH yang tersedia	Kecil	Besar	
Luas ruang instalasi	Besar	Kecil	
Tinggi bangunan rumah Pompa	Rendah	Tinggi	
Berat	Kecil	Besar	

didasarkan atas pertimbangan berikut ini.

- 1) Jika tidak ada pembatasan-pembatasan pada kondisi pengisapan dan pompa kecil atau sedang maka pompa berporos mendatar adalah lebih ekonomis.
- 2) Jika head isap statis cukup besar, atau pompa harus bekerja otomatis, maka pompa berporos tegak adalah lebih sesuai.
- 3) Jika pompa harus sering dibongkar pasang karena mutu air yang buruk atau sebab lain maka pompa berporos mendatar lebih menguntungkan.

(b) Pemilihan jenis pompa menurut kondisi pemasangannya

Dalam merencanakan instalasi suatu pompa, persyaratan khusus sering dijumpai. Namun, tujuan utama instalasi pompa relatif lebih mudah dicapai dalam banyak hal jika suatu jenis pompa tertentu dipakai untuk maksud yang sama. Jenis-jenis pompa yang harus dipertimbangkan terlebih dahulu untuk berbagai kondisi instalasi diperlihatkan dalam Tabel 2.25. Adapun konstruksi pompa yang bersangkutan akan diuraikan kemudian.

### 2.6.2 Diagram Pemilihan Pompa Standar

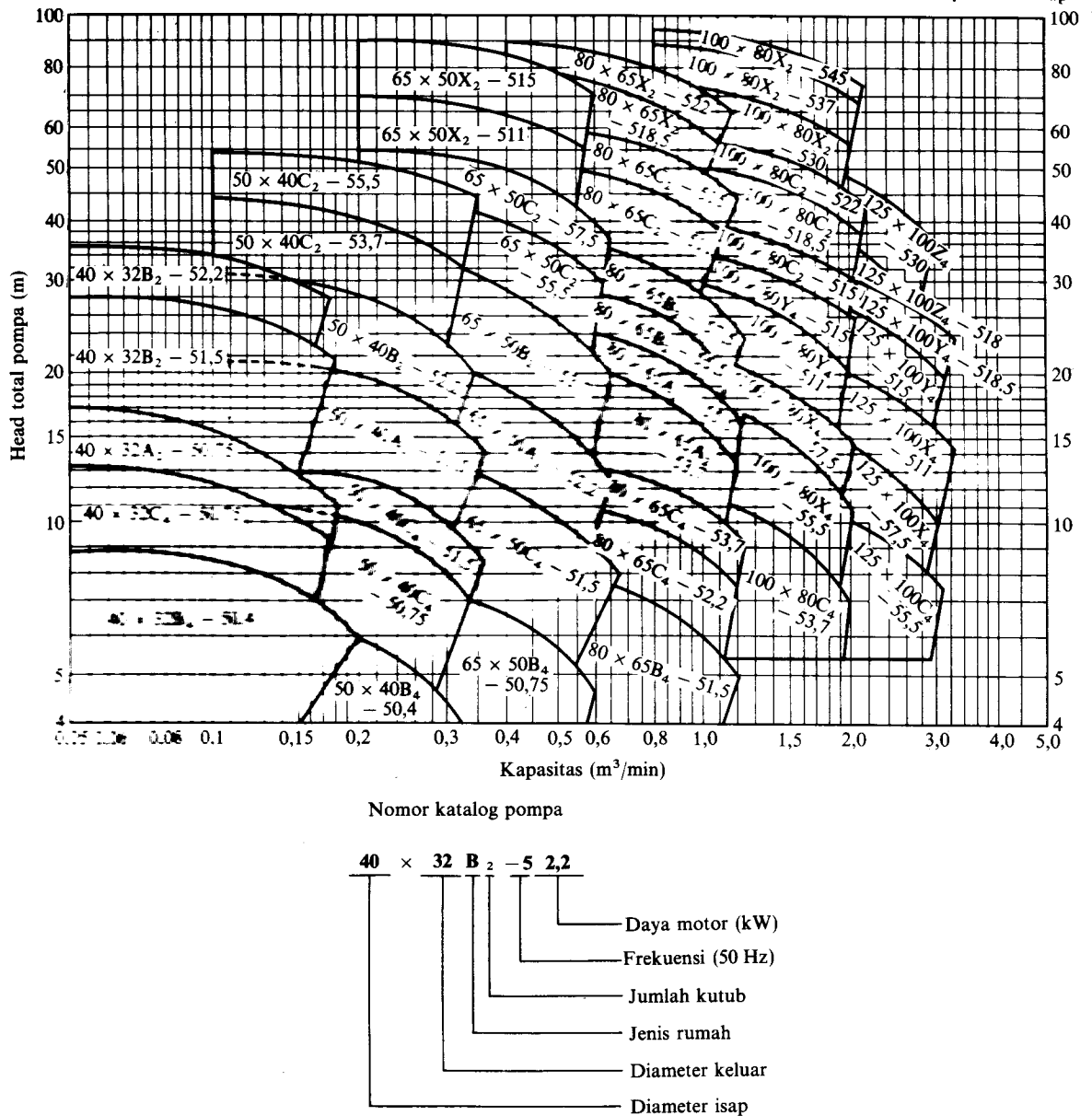
Pompa-pompa standar berukuran kecil dan sedang pada umumnya dilengkapi dengan diagram pemilihan. Diagram semacam ini akan lebih memudahkan pemilihan dibandingkan dengan cara yang diuraikan dalam butir 2.6.1. Gb. 2.25 menunjukkan

Tabel 2.25 Pompa-pompa yang sesuai untuk kondisi pemakaian tertentu.

Kondisi pemakaian	Pompa yang sesuai
Untuk luas tangkapan yang terbatas	Pompa tegak
Untuk sumur dalam	Pompa tegak jenis sumur dalam atau dengan motor di atas atau di bawah pompa (submersible- motor)
Untuk fluktuasi yang besar pada permukaan air isap	Pompa tegak
Untuk ruang pompa yang dapat terendam air (terkena banjir)	Pompa tegak dengan lantai ganda
Untuk memompa air lumpur dan berlumpur Untuk penguat (booster)	Pompa volut tegak jenis sumuran kering (dry pit) Pompa dengan laluan masuk dan keluar terletak sesumbu (inline), untuk ukuran kecil
Untuk mencegah pengotoran air yang dipompa oleh minyak pelumas atau gemuk	Pompa volut mendatar atau pompa tegak dengan pelumas air
Untuk mengurangi kebisingan	Pompa dengan motor terendam, pompa tegak jenis tromol sumuran (untuk penguat)
Bila kebocoran ke luar pompa tidak diizinkan	Pompa motor berselubung

Catatan: Pompa jenis sumuran kering mempunyai sumuran kering yang terletak di samping tadah isap, pompa dipasang pada sumuran kering ini. Pompa jenis tromol sumuran dipasang bersama dengan pipa kolomnya di dalam tromol dan tidak pada tadah isap.

Putaran: 3000 rpm – 2 kutub  
1500 rpm = 4 kutub



$$P_w = 0,163\gamma QH$$

(2.36)

di mana  $\gamma$ : Berat air per satuan volume (kgf/l)

$Q$ : Kapasitas (m<sup>3</sup>/min)

$H$ : Head total pompa (m)

$P_w$ : Daya air (kW)

atau

$$P_w = \gamma QH$$

(2.37)

di mana  $\gamma$  dinyatakan dalam kN/m<sup>3</sup> dan  $Q$  dalam m<sup>3</sup>/s.

### 2.7.2 Daya Poros

Daya poros yang diperlukan untuk menggerakkan sebuah pompa adalah sama dengan daya air ditambah kerugian daya di dalam pompa. Daya ini dapat dinyatakan sebagai berikut:

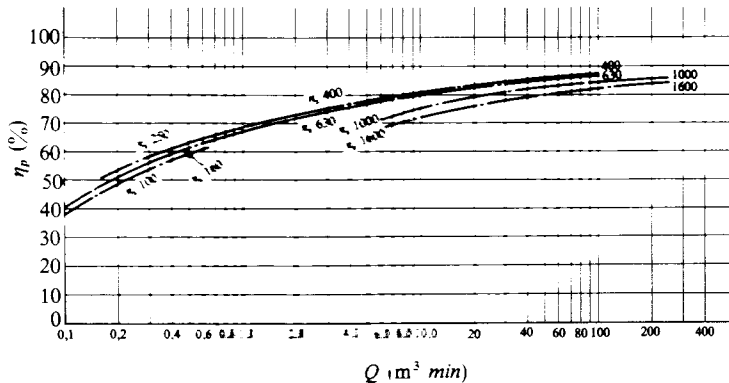
$$P = \frac{P_w}{\eta_p}$$

(2.38)

di mana  $P$ : Daya poros sebuah pompa (kW)

$\eta_p$ : Efisiensi pompa (pecahan)

Harga-harga standar efisiensi pompa  $\eta_p$  diberikan dalam Gb. 2.26. Efisiensi pompa untuk pompa-pompa jenis khusus harus diperoleh dari pabrik pembuatnya.



Efisiensi standar pompa sentrifugal menurut  $\eta_s$

Gb. 2.26 Efisiensi standar pompa.

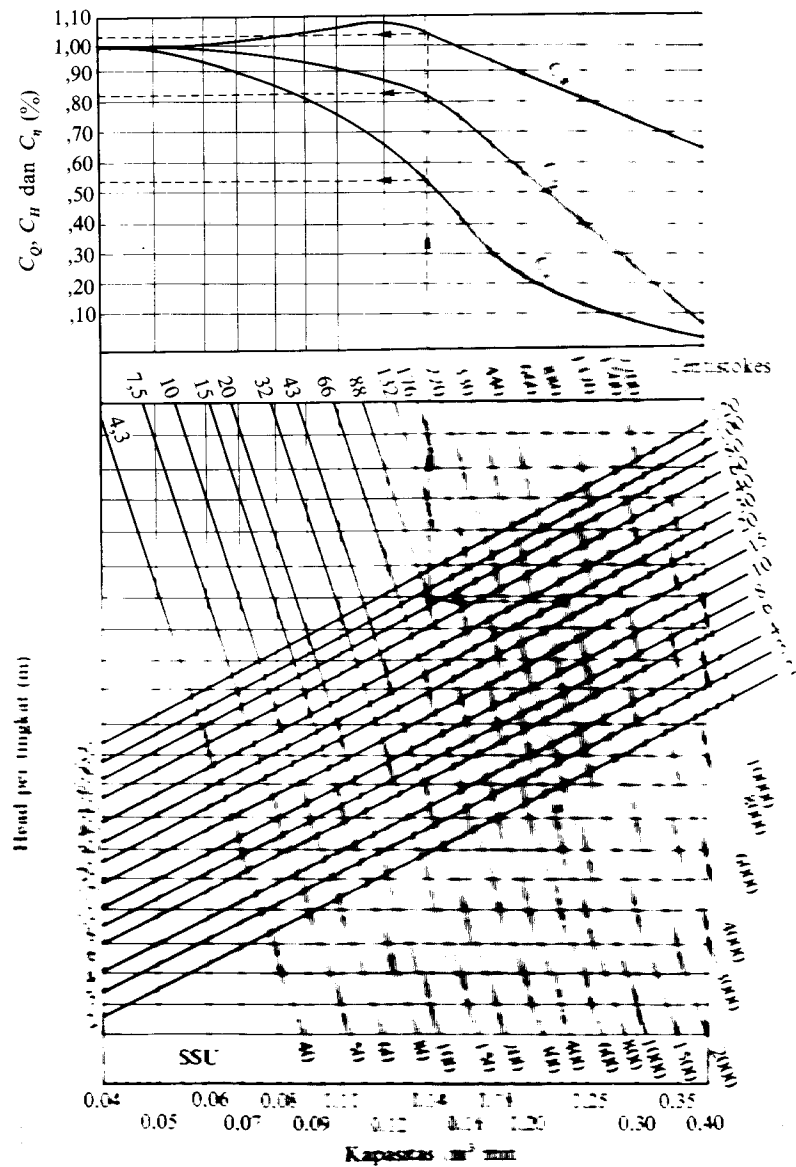
## 2.8 Koreksi Performansi Untuk Zat Cair Kental

Jika pompa dipakai untuk memompa zat cair yang mempunyai viskositas lebih tinggi dari pada air maka performansi pompa akan menurun. Jadi, jika spesifikasi pompa telah ditentukan atas dasar zat cair yang akan dipompa, maka dalam pemilihan pompa, perlu dicari spesifikasi yang sesuai untuk mengoperasikan pompa yang sama dengan air bersih. Untuk ini dapat digunakan cara yang ditetapkan oleh Hydraulic Institute di Amerika Serikat. Menurut cara ini, kapasitas, head total pompa dan perbandingan reduksi  $C_Q$ ,  $C_H$ , dan  $C_\eta$  dari efisiensi pompa harus ditentukan lebih dahulu.

menurut Gb. 2.27. Kemudian hubungan antara spesifikasi—spesifikasi dapat diperoleh dari persamaan berikut:

$$\left. \begin{aligned} Q_0 &= C_Q Q_w \\ H_0 &= C_H H_w \\ \eta_0 &= C_\eta \eta_w \end{aligned} \right\} \quad (2.39)$$

Di sini  $Q$ ,  $H$ , dan  $\eta$  menyatakan kapasitas, head total pompa, dan efisiensi pompa. Index  $w$  dan  $0$  menyatakan "air bersih" dan "zat cair kental". Satuan viskositas 1 Centi-stokes =  $10^{-2}$  stokes =  $10^{-6}$  m<sup>2</sup>/s.



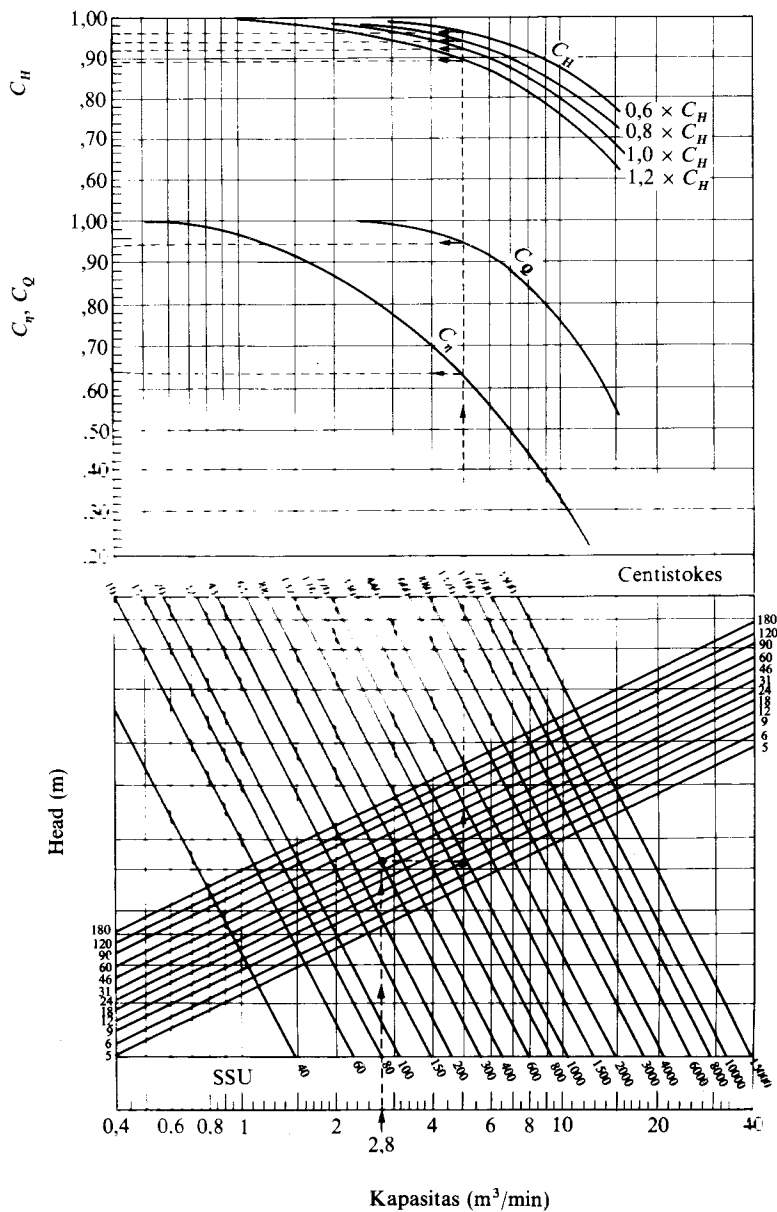
Gb. 2.27 (a) Diagram koreksi untuk pompa minyak berkapasitas kecil.

**Contoh**

Misalkan sebuah pompa mempunyai spesifikasi  $Q_w = 0,23 \text{ m}^3/\text{min}$  dan  $H_0 = 30 \text{ m}$ . Tentukan  $Q_0$  dan  $H_0$  jika pompa dipakai untuk zat cair dengan viskositas 100 Centistokes.

**Jawaban**

Dalam Gb. 2.27(a) tarik garis tegak ke atas dari kapasitas  $0,23 \text{ m}^3/\text{min}$  pada axis (seperti ditunjukkan dengan garis putus-putus) ke sebuah titik pada garis miring untuk head 30 m. Kemudian tarik garis mendatar dari titik ini ke sebuah titik pada garis miring



Gb. 2.27 (b) Diagram koreksi untuk pompa minyak berkapasitas besar.

untuk 88 Centistokes (400 SSU). Selanjutnya tarik garis tegak ke atas dari titik potong ini. Maka dengan membaca harga-harga ordinat dari titik-titik perpotongan garis putus-putus dengan kurva  $C_Q$  dan  $C_H$ , dapat diperoleh:

$$C_Q = 0.83; C_H = 1.04$$

$$Q_0 = 0.83 \times 0.23 = 0.19 \text{ m}^3/\text{min}$$

$$H_0 = 1.04 \times 30 = 31.2 \text{ m}$$

## 2.9 Pemilihan Bahan

### 2.9.1 Bahan-bahan Dari Bagian-Bagian Utama Pompa Umum

Tabel 2.26 Bahan-bahan untuk pompa yang umum dipakai.

Nomor Kelompok	Frekuensi RPM	Rumah (casing)	Impeler	Pemakaian
A-1	○	FC	FC	Air tawar, air minum
A-2	○	FC	FCD	Air tawar, air minum
A-3	○	FC	SC	Air tawar, air minum
A-4	○	FC	BC	Air tawar, air minum
A-5	○	FC	PBC	Air tawar, air limbah
A-6	○	FC	ABC	Air tawar, air limbah
A-7	○	FC	SCS2	Air tawar, air minum
A-8	○	FC	SCS12 or SCS13	Air limbah, air laut
A-9	○	FC berlapis karet	SCS12 or SCS13	Air limbah, air laut
B-1	○	SC	SC	Air tawar, air laut
B-2	○	SC	ABC	Air tawar, air minum
B-3	○	SC	SCS2	Air tawar, air minum
B-4	○	SC	SCS12 or SCS13	Air limbah, air laut
B-5	○	SC	SCS14 or SCS15	Air laut
C-1	○	BC	BC	Air limbah, air laut
C-2	○	BC	PBC	Air laut
C-3	○	ABC	ABC	Air laut
D-1	○	SCS2	SCS2	Air limbah, air laut
D-2	○	SCS2	SCS12 or SCS13	Air limbah, air laut
D-3	○	SCS2	SCS14 or SCS15	Air laut
D-4	○	SCS12 or SCS13	SCS12 or SCS13	Air laut
D-5	○	SCS12 or SCS13	SCS14 or SCS15	Air laut
D-6	○	SCS12 or SCS13	Worthite	Air laut
E-1	○	SS	SC	Air tawar
E-2	○	SS	SCS2	Air tawar, air minum
E-3	○	SS	SCS13	Air tawar, air minum

1. Frekuensi dengan tanda "○" berarti bahan sering dipakai.
2. FC (besi cor) menyatakan FC15, FC20, FC25, dan FC25 Ma.
3. BC (perunggu cor) menyatakan BC1 dan BC3.
4. SC berarti baja karbon cor.
5. ABC berarti perunggu aluminium cor.
6. SS berarti plat baja.
7. Nomor kelompok besar berarti bahan dengan mutu lebih tinggi.

Kelompok B memakai baja cor untuk rumah. Bahan ini dipakai bila dibutuhkan ketahanan yang tinggi terhadap keausan dan korosi atau jika diperlukan head yang tinggi.

Bahan-bahan yang terdapat dalam kelompok C dan D dipakai bila ketahanan terha-

- (1) Nama zat cair yang akan dipompa (nama yang biasa dipakai juga boleh).
- (2) Zat korosif yang terdapat di dalam zat cair (seperti  $H_2SO_4$ ,  $HCl$ ) harus secara jelas disebutkan. Persentase berat dari asam atau basa harus dinyatakan untuk campuran zat cair.
- (3) pH
- (4) Kotoran atau persentase berat zat selain yang dinyatakan dalam (2) di dalam zat cair (seperti garam, logam, zat organik, dll.).
- (5) Berat jenis atau kerapatan zat cair yang dipompa:  
( )  $g/cm^3$  atau ( )  $kg/m^3$ , pada ( )  $^{\circ}C$
- (6) Temperatur zat cair: ( )  $^{\circ}C$  maksimum  
( )  $^{\circ}C$  rata-rata  
( )  $^{\circ}C$  minimum
- (7) Tekanan uap pada temperatur tersebut dalam (6):  
( )  $kgf/cm^2$  atau ( ) MPa, pada ( )  $^{\circ}C$   
( ) " ( ) "  
( ) " ( ) "
- (8) Viskositas  
( ) SSU atau ( )  $kg s/m^2$  atau  
( ) cSt pada ( )  $^{\circ}C$
- (9) Jumlah udara yang larut  
( ) ppm pada kondisi bebas  
( ) ppm pada kondisi jenuh  
Jumlah oksigen yang larut:  
( ) ppm pada kondisi bebas  
( ) ppm pada kondisi jenuh  
Kecenderungan untuk membentuk gelembung.  
Tingkat kelarutan gas-gas lain:
- (10) Zat padat yang dikandung  
a. Berat jenis atau kerapatan : ( )  $g/cm^3$  atau ( )  $kg/m^3$   
b. Jumlah kandungan : ( ) ppm pada ( ) mesh  
( ) ppm pada ( ) mesh  
( ) ppm pada ( ) mesh
- (11) Kondisi pemakaian pompa  
a. Operasi terus-menerus atau terputus-putus: \_\_\_\_\_  
b. Apakah zat cair disirkulasikan dalam jalur pipa tertutup, atau zat cair baru ditambahkan terus menerus? \_\_\_\_\_  
c. Apakah pompa kadang-kadang dibuka atau bagian dalamnya kadang-kadang terkena udara? \_\_\_\_\_
- (12) Pengalaman yang diperoleh dari pompa-pompa yang ada dengan zat cair yang sama.  
a. Mutu bahan utama dari pompa: \_\_\_\_\_  
b. Jumlah jam operasi sampai terjadi gangguan karena korosi: \_\_\_\_\_  
c. Bagian yang mengalami korosi dan derajat korosi: \_\_\_\_\_  
d. Spesifikasi pompa: \_\_\_\_\_  
e. NPSH dari pompa pada kerja normal dan yang tersedia: \_\_\_\_\_
- (13) Umur yang diminta dalam jam dari bagian-bagian utama pompa berdasarkan pertimbangan ekonomi: \_\_\_\_\_



dap korosi sangat diperlukan, misalnya pada pompa yang dipergunakan untuk air laut atau di industri kimia. Pompa ini mahal harganya.

Pompa-pompa dengan rumah dan konstruksi baja dalam kelompok E adalah pompa berukuran besar. Rumah dari pelat baja tahan karat juga dipakai pada beberapa pompa standar yang kecil.

Untuk poros umumnya dipakai baja karbon apabila pompa dipergunakan untuk air tawar. Baja tahan karat dipakai apabila diperlukan ketahanan terhadap korosi.

## 2.9.2 Data Yang Diperlukan Untuk Pemilihan

Pada pompa-pompa yang dipakai untuk memompa zat-zat cair khusus, pemilihan bahannya dipengaruhi oleh banyak faktor seperti konstruksi dan standar pabrik. Dengan demikian adalah lebih mudah apabila dapat meminta petunjuk dari pabrik dengan memberikan keterangan yang seperti diperlihatkan dalam Tabel 2.27.

## 2.10 Pemilihan Penggerak Mula

### 2.10.1 Daya Nominal Penggerak Mula

Meskipun daya poros pompa ditentukan menurut pers. (2.38), daya nominal dari penggerak mula yang dipakai untuk menggerakkan pompa harus ditetapkan dari rumus:

$$P_n = \frac{P_s}{\eta} \quad (2.40)$$

di mana  $P_n$  : Daya nominal penggerak mula (kW)

$\eta$  : Efisiensi transmisi (pecahan), (Tabel 2.28)

$\eta$  : Efisiensi transmisi (pecahan) (Tabel 2.29)

Jika ada beberapa pompa bervariasi dalam suatu daerah tertentu, maka daya poros harusnya juga bervariasi. Jadi daya nominal harus ditentukan untuk daya poros maksimum  $P_s$  dalam daerah kerja normal dengan menggunakan Pers. (2.40).

Untuk pompa-pompa standar seperti diuraikan dalam butir 2.6.2, daya nominal penggerak mula ditentukan dengan diagram pemilihan. Jadi diagram pemilihan semacam itu harus dipergunakan jika ada.

Tabel 2.28 Perbandingan efisiensi

Jenis penggerak mula	$\eta$
Motor induksi	0,9-0,95
Motor bakar kecil	0,5-0,75
Motor bakar besar	0,7-0,85

Tabel 2.29 Efisiensi transmisi.

Jenis transmisi	$\eta$
Sedot tetap	0,9-0,93
Sedot variabel	0,95
Pompa putar langsung satu tingkat	0,92-0,95
Pompa putar melalui satu tingkat	0,95-0,98
Pompa putar melalui dua tingkat	0,92-0,96
Pompa putar melalui tiga tingkat	0,95-0,98
Kecepatan variabel	0,95-0,97

### 2.10.2 Motor Listrik Dan Motor Torak

Dalam merencanakan instalasi pompa, sering kali dipertanyakan apakah akan digunakan motor listrik atau motor torak sebagai penggerak mula. Untuk menentukan

mana yang tepat bagi setiap kasus, harus dilihat kondisi kerja dan tempatnya. karena kedua jenis penggerak mula tersebut mempunyai keuntungan dan kerugiannya masing-masing.

Di bawah ini diberikan perbandingan sifat-sifat motor listrik dan motor torak sebagai bahan pertimbangan dalam pemilihannya.

(1) Motor listrik

(a) Keuntungan

- 1) Jika tenaga listrik dari PLN atau sumber lain tersedia dengan tegangan yang sesuai di sekitar tempat tersebut, maka penggunaan motor listrik dapat memberikan ongkos yang murah.
- 2) Pengoperasiannya lebih mudah
- 3) Ringan dan hampir tidak menimbulkan getaran.
- 4) Pemeliharaan dan pengaturan mudah.

(b) Kerugian

- 1) Jika listrik padam, pompa tidak dapat bekerja sama sekali.
- 2) Jika pompa jarang dipakai, biaya operasinya akan tinggi karena biaya beban tetap harus dibayar.
- 3) Jika lokasi pompa jauh dari jaringan distribusi listrik yang ada, maka biaya penyambungan tenaga listrik akan mahal,

(2) Motor torak

(a) Keuntungan

- 1) Operasi tidak tergantung pada tenaga listrik
- 2) Biaya fasilitas tambahan dapat lebih rendah dari pada motor listrik.

(b) Kerugian

- 1) Motor torak lebih berat dari pada motor listrik
- 2) Memerlukan air pendingin yang jumlahnya cukup besar
- 3) Getaran dan suara mesin sangat besar.

Di samping motor listrik dan motor torak, untuk pabrik-pabrik yang menggunakan tenaga uap, juga sering dipakai turbin uap sebagai penggerak pompa. Namun di sini tidak akan dibahas karena pemakaiannya agak terbatas.

### 2.10.3 Roda Gigi Pengubah Putaran

Jika putaran penggerak mula tidak sama dengan putaran pompa, maka perlu dipasang roda gigi pengubah putaran antara pompa dan penggerak. Untuk pompa-pompa kecil dapat juga dipakai transmisi sabuk di samping roda gigi.

Untuk pompa yang harus dapat diubah-ubah putarannya sering dipakai torque converter atau kopling fluida.

## 3 | PEMAKAIAN

### 3.1 Perencanaan Instalasi Pompa

Pompa tidak dapat bekerja sendiri tanpa fasilitas penunjangnya seperti pipa-pipa dan katup-katup. Jadi dalam merencanakan peralatan pompa harus diperhatikan benar-benar fasilitas penunjang ini. Di bawah ini akan dibahas hal-hal yang perlu dalam perencanaan instalasi pompa.

#### 3.1.1 Tata letak pompa

Ruang pompa harus direncanakan dengan memperhatikan jalan masuk mesin, tempat dan ruangan untuk membongkar dan memasang pompa, jalan untuk pemeliharaan dan pemeriksaan, papan tombol, pipa-pipa, penopang pipa, saluran pembuang air, drainase ruangan, ventilasi, penerangan, keran pengangkat, dan lain-lain.

Jika beberapa pompa akan dipasang di dalam ruangan yang sama perlu diperhatikan jarak antar pompa. Jarak yang terlalu besar kurang ekonomis. Tetapi jarak yang terlalu dekat dapat menimbulkan pusaran di tadah isap hingga akan mengakibatkan performansi pompa yang buruk atau menyulitkan pada waktu operasi dan pemeliharaan. Karena itu sebagai pedoman dapat diambil jarak minimum 1.0 m atau biasanya lebih dari 1,5 m sebagai ruang bebas di sekeliling pompa.

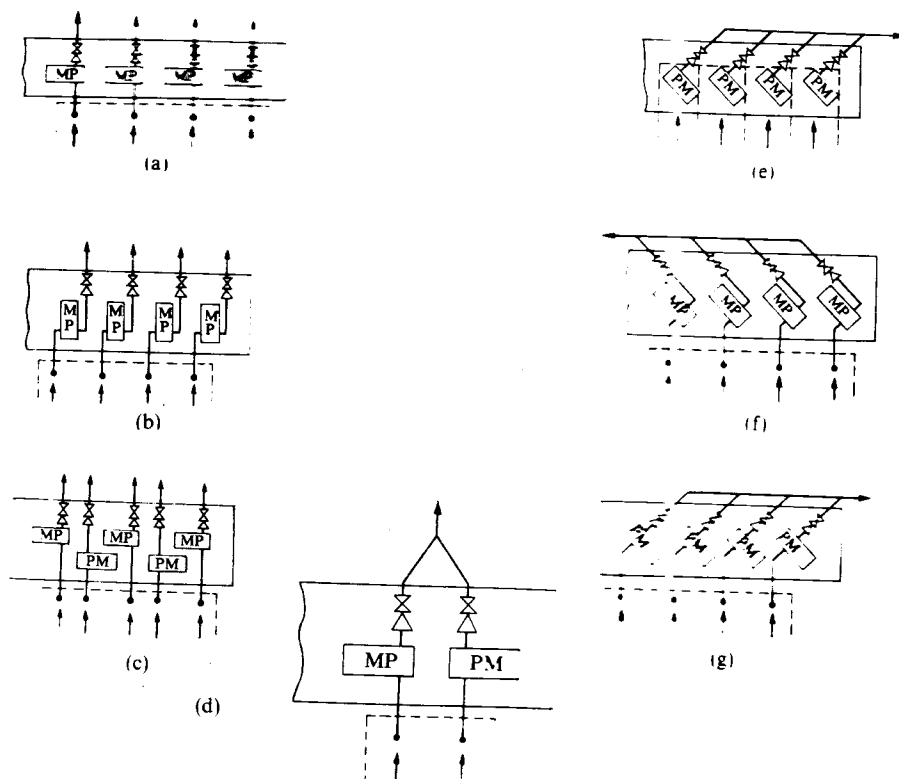
Gb. 3.1 memperlihatkan tata letak yang khas dari pompa-pompa sentrifugal dengan poros mendatar. Tata letak khusus dapat juga dipilih tergantung pada kondisi tempat di mana pompa akan dipasang dengan memperhatikan prinsip-prinsip yang terdapat pada tata letak yang khas tersebut sebagai perbandingan.

#### 3.1.2 Pemipaan

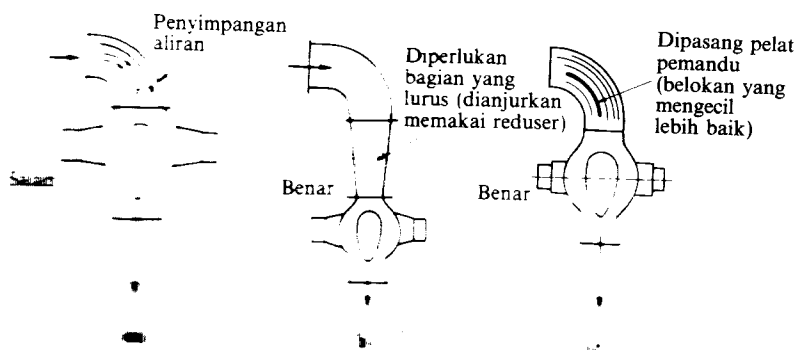
##### (1) Pipa Isap

Dalam merencanakan pipa isap, tindakan pengamanan berikut ini perlu diambil.

- (a) Hindari terjadinya penyimpangan aliran atau pusaran pada nosel isap. (Lihat Gb. 3.2).
- (b) Pipa harus sependek mungkin dan jumlah belokan harus sesedikit mungkin agar kerugian head dapat diperkecil.
- (c) Hindari terjadinya kantong udara di dalam pipa dengan membuat bagian pipa yang mendatar agak menanjak ke arah pompa dengan kemiringan  $1/100$  sampai  $1/50$ . Jika terjadinya kantong udara tak dapat dihindari sama sekali, perlu disediakan cara untuk membuang udara. (Lihat Gb. 3.3).
- (d) Karena tekanan di dalam pipa biasanya lebih rendah dari pada tekanan atmosfer, perlu dipakai cara menyambung pipa yang tidak dapat menyebabkan kebocoran udara dari luar ke dalam pipa isap.
- (e) Bila sebuah saringan atau katup isap akan dipasang maka perlu disediakan cara untuk membersihkan kotoran yang menyumbat. Hal ini dapat dilakukan



Gb. 3.1 Tata letak pompa-pompa volut mendatar  
(M = motor; P = pompa).



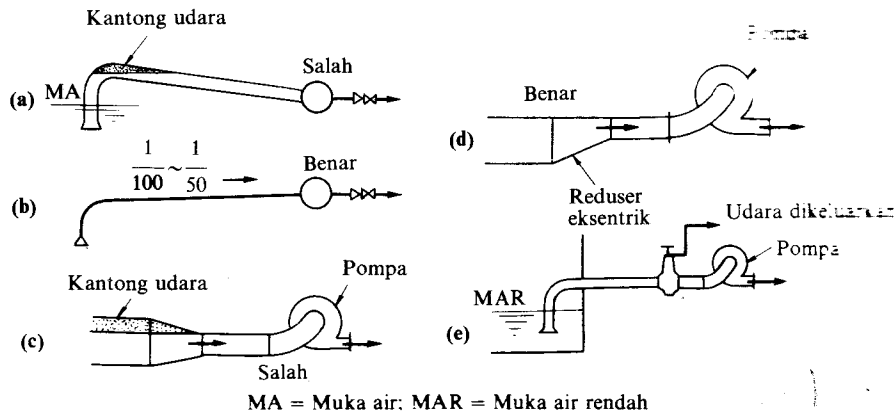
Gb. 3.2 Penempatan pipa lurus benar dan cara mencegahnya.

misalnya dengan membuat pipa lurus yang mudah dipasang dan tidak ditanam di dalam beton. (Lihat Gb. 3.4).

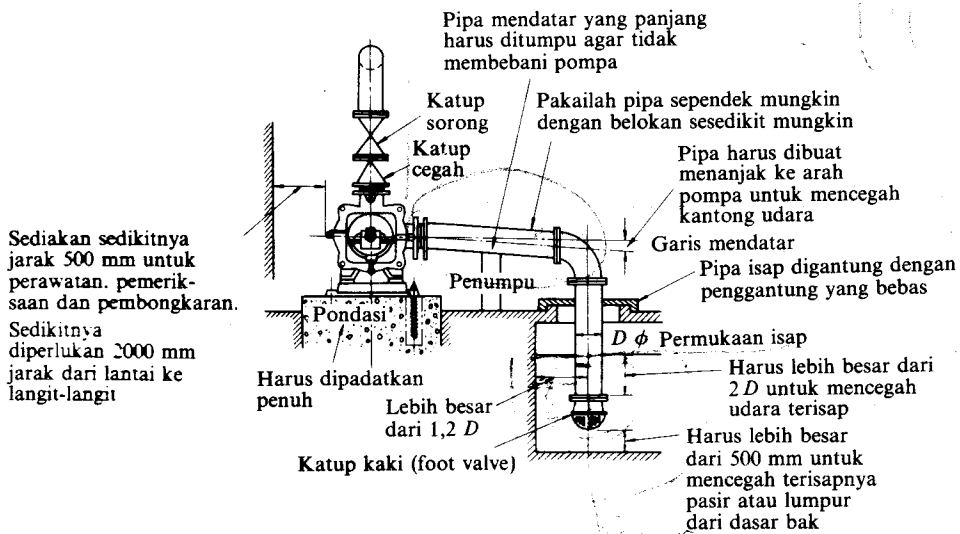
## (2) Pipa Keluar

### (a) Diameter pipa dan kecepatan

Diameter pipa keluar atau pipa penyalur harus ditentukan berdasarkan atas efisiensi dan ekonomi pemompaan. Jadi, diameter pipa penyalur tidak harus sama dengan diameter lubang keluar pompa. Jika pipa sangat panjang, diameter pipa yang ekonomis tergantung pada biaya pemeliharaan, ongkos daya pompa, dan besarnya biaya instalasi.



Gb. 3.3 Contoh pemasangan pipa isap yang salah dan benar.



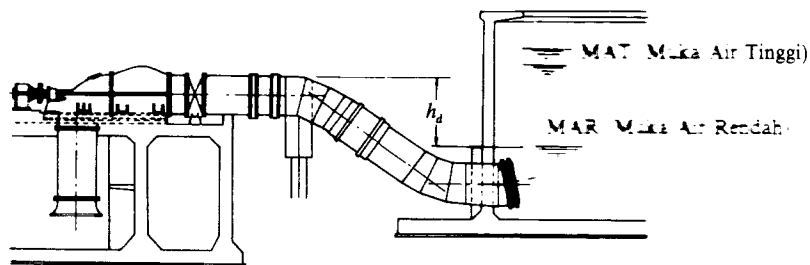
Gb. 3.4 Petunjuk-petunjuk pemasangan pompa mendatar.

Yang dimaksud biaya instalasi di sini terdiri atas harga semua peralatan seperti pompa-pompa, motor-motor, katup-katup dan pipa, biaya pemasangan, biaya pekerjaan sipil, bunga modal, dsb.

Pada umumnya kecepatan aliran di dalam pipa diambil 1 sampai 2 m/s untuk pipa berdiameter kecil, dan 1,5 sampai 3,0 m/s untuk pipa berdiameter besar. Kecepatan bisa lebih dari 6 m/s karena akan terjadi penggerusan.

#### (b) Akhir pipa keluar

Untuk pompa dengan head rendah, ujung akhir pipa ke luar umumnya dibuat terbuka, dengan arah hampir mendatar, di bawah permukaan zat cair di tempat atas. Jika pompa akan dipasang di atas permukaan air keluar, maka harus dibuat pipa sifon dengan membengkokkan pipa keluar ke bawah. Dengan demikian akhir pipa ini akan masuk ke bawah permukaan air ditadah keluar seperti di perlihatkan dalam Gb. 3.5. Jika pipa dibuat demikian maka head keluar statis  $h_s$  akan semakin rendah jika muka air di saluran keluar semakin rendah, sehingga daya penggerak pompa akan menjadi lebih kecil pula.



Gb. 3.5 Pipa sifon.

## (3) Penumpu pipa

Dalam instalasi, pipa harus ditumpu untuk menahan beratnya sendiri, berat zat cair yang ada di dalamnya, gaya karena tekanan dan aliran zat cair, dan gaya-gaya lain yang dapat bekerja pada pipa. Tumpuan ini harus dipasang sedemikian rupa hingga pipa tidak membebani pompa atau katup-katup yang ada.

Jarak antara tumpuan-tumpuan untuk pipa mendatar harus ditentukan sedemikian hingga lendutan pipa tidak terlalu besar. Lendutan yang terlalu besar akan menyebabkan pipa mudah bergetar. Selain itu juga tidak sedap dipandang.

Pipa yang dipasang miring harus dijaga agar tidak merosot dalam arah sumbunya.

Pipa yang dipasang tegak dapat mengalami getaran dan tekukan. Karena itu juga harus ditumpu atau diberi pemegang pada jarak-jarak tertentu.

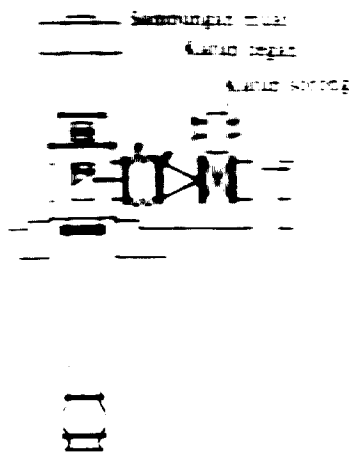
Besarnya gaya yang umumnya bekerja pada pipa oleh aliran air dapat diuraikan sebagai berikut:

## 1. Sambungan muai

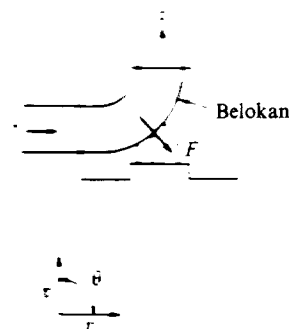
Jika sambungan muai (yaitu sambungan yang memungkinkan pemuaian pada pipa) dipasang pada pipa, maka pipa akan dapat memuai dalam arah memanjang karena tekanan hidrostatik zat cair di dalam pipa. (Lihat Gb. 3.6). Besar gaya ini adalah:

$$F = \frac{\pi}{4} D^2 \Delta p \quad (3.1)$$

di mana  $F$  gaya yang bekerja searah sumbu pipa (kgf)



Gb. 3.6 Gaya yang bekerja pada pompa jika dipakai sambungan muai.



Gb. 3.7 Gaya pada belokan.

$D$ : diameter dalam pipa (m)

$p$ : tekanan hidrostatik ( $\text{kgf/m}^2$ )

Gaya ini bekerja pada tikungan, sambungan T, atau ujung yang tertutup. Gaya ini menyebabkan pipa memuai. Dengan demikian pipa perlu ditahan tetap.

(b) Tikungan

Pada tikungan pipa bekerja gaya yang disebabkan oleh aliran zat cair yang berbelok. di samping berat pipa dan isinya. Jika letak belokan adalah seperti pada Gb. 3.7, maka gaya yang ditimbulkan oleh aliran zat cair yang berbelok adalah:

$$F = 2 \frac{\gamma}{g} Qv \sin \theta$$

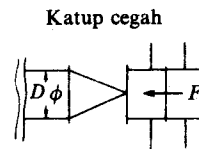
di mana  $F$ : gaya aliran zat cair pada tumpuan (kgf)

$\gamma$ : berat zat cair per satuan volume ( $\text{kgf/m}^3$ )

$g$ : percepatan gaya berat ( $\text{m/s}^2$ )

$Q$ : kapasitas aliran ( $\text{m}^3/\text{s}$ )

$v$ : kecepatan rata-rata aliran di dalam pipa (m/s)



Gb. 3.8 Gaya yang bekerja pada katup cegah (check valve).

(c) Penumpu pipa di muka dan belakang katup

Setiap kali katup cegah menutup, akan selalu timbul gaya karena tumbukan aliran air pada katup tersebut. Besarnya gaya yang timbul dapat didekati sebagai berikut (Lihat Gb. 3.8).

$$F \approx 2 \frac{\pi}{4} D^2 \gamma H \quad (3.3)$$

di mana  $F$ : gaya pada katup (kgf)

$D$ : diameter dalam pipa (m)

$H$ : head pompa yang sesungguhnya (m)

Gaya tersebut di atas bekerja searah sumbu pipa. Karena itu diperlukan tumpuan yang dapat menahan gaya ini.

### 3.1.3 Katup

Katup dipakai dalam instalasi pompa untuk menutup aliran, mencegah aliran

Tabel 3.1 Jenis-jenis katup dan kesesuaiannya dengan penggunaan.

Nama katup	Penggunaan		
	Penutup aliran	Pengatur aliran	Pencegah aliran balik
Katup sorong	○		
Katup bola	○	○	
Katup sudut	○	○	
Katup jarum	○	○	
Katup kupu-kupu	▲	○	
Katup sumbat	○		
Katup putar	○	○	
Katup cegah			○
Katup reflux			○
Katup kepak			○
Katup isap			○

Tanda "○" berarti sesuai; tanda "▲" berarti tidak sempurna.

balik, atau mengatur aliran. Dalam beberapa hal dipakai gabungan dari dua katup atau lebih, dan dalam hal lain satu katup dipakai untuk melakukan lebih dari satu tugas.

Dalam memilih katup, tujuan dan kondisi pemakaian (seperti tekanan, temperatur, jenis zat cair, frekuensi pemakaian) harus jelas. Adapun jenis-jenis dan maksud pemakaian katup diberikan dalam Gb. 2.15.

### 3.1.4 Tadah isap dan tadah keluar

#### (1) Tadah isap

Bentuk dan ukuran tadah isap serta saluran masuk di dekatnya akan mempengaruhi secara langsung performansi dan kondisi kerja sebuah pompa. Hal ini terutama akan sangat berpengaruh bila impeler dipasang dekat ujung pipa isap seperti pada pompa aksial atau pompa aliran campur dengan poros tegak. Jadi tadah isap yang kurang baik akan menimbulkan pusaran menyebabkan perputaran aliran di dalam pipa isap pompa. Keadaan ini akan mengubah performansi pompa, dan udara dapat masuk ke dalam pipa isap sehingga kadang-kadang menimbulkan bunyi dan getaran.

Untuk mencegah terjadinya pusaran dapat diambil langkah-langkah berikut:

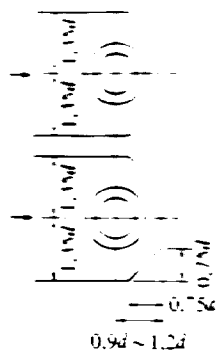
- Saluran masuk ke tadah isap hendaknya dibuat sedemikian hingga tidak menimbulkan perubahan arah dan kecepatan aliran masuk ke dalam tadah isap. Kecepatan aliran di dekat tadah isap yang dianjurkan adalah kurang dari 0,5 sampai 0,8 m/s. Harga maksimum yang masih diperbolehkan adalah kurang dari 0,9 sampai 1,2 m/s.
- Jarak antara pipa isap dan dinding tidak boleh lebih dari yang diperlukan. Jika jarak ini terlalu besar maka dapat timbul pusaran. Jadi jarak yang kecil dapat dianjurkan.
- Sebuah corong isap atau katup isap harus dipasang pada ujung pipa isap. Kedalaman  $S$  diukur dari permukaan zat cair terendah ke dasar corong isap atau katup isap harus cukup besar. Sebaliknya, jarak  $C$  yang diukur dari dasar corong isap ke dasar tadah isap tidak boleh terlalu besar. Harga yang dianjurkan adalah:

$$S \geq 1,9d$$

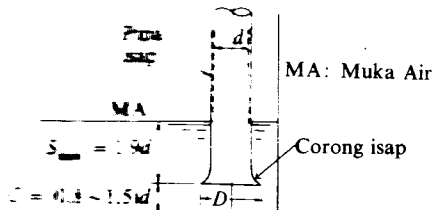
$$C = (0,8 - 1,5)d$$

di mana  $d$  adalah diameter pipa isap.

- Bentuk dasar tadah isap yang dianjurkan adalah seperti diperlihatkan dalam Gb. 3.9. Dan kecepatan di dalam tadah isap harus lebih rendah dari 0,3 m/s.



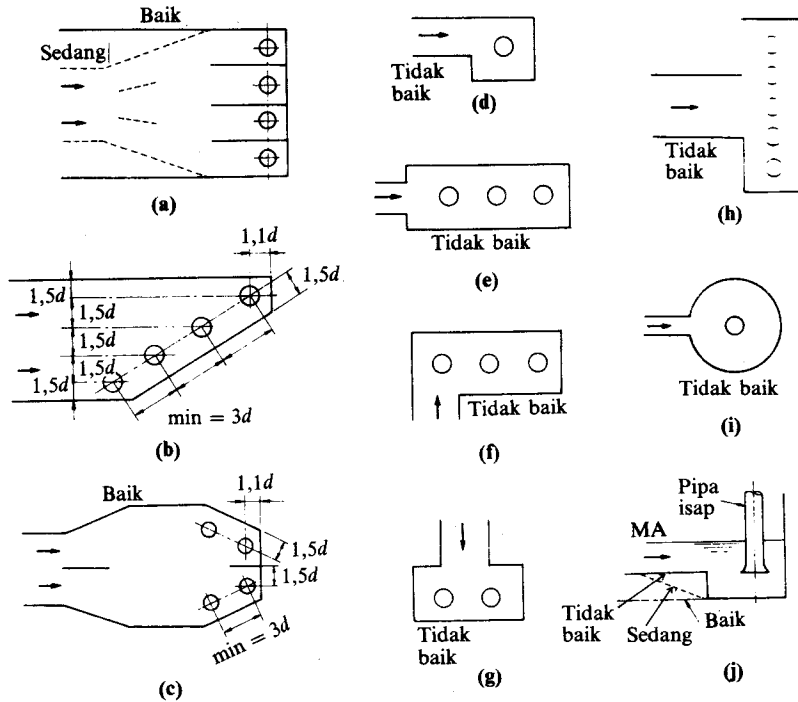
(a) Tampak atas



(b) Tampak samping

Gb. 3.9 Tata letak yang dianjurkan untuk tadah isap (suction sump).





Gb. 3.10 Contoh tadah isap yang baik dan buruk.

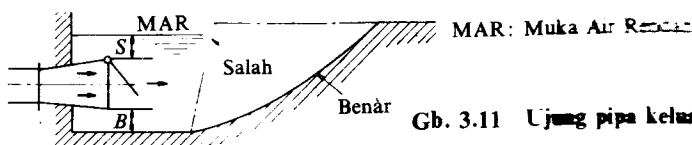
- e) Apabila beberapa pipa isap akan dipasang pada satu tadah isap maka dapat dianjurkan untuk merencanakan tata letaknya sedemikian rupa hingga aliran akan masuk hanya ke dalam satu pipa isap dan tidak terjadi saling pengaruh mempengaruhi. Beberapa contoh tata letak yang baik dan buruk diperlihatkan dalam Gb. 3.10.

## (2) Tadah keluar

Jika air dikeluarkan ke tadah keluar dengan kecepatan sama dengan di pipa keluar maka energi kecepatan yang dikandung aliran akan hilang seluruhnya. Hal ini tentu saja merugikan. Dalam hal pompa dengan head rendah, perbandingan antara head kecepatan dan head statis pompa adalah cukup besar. Maka besarnya kecepatan keluar akan sangat mempengaruhi harga efisiensi pemompaan. Jadi untuk mencegah kerugian energi kecepatan keluar, perlu dipasang reduser untuk menurunkan kecepatan aliran secara bertahap.

Kedalaman ujung akhir pipa keluar di bawah permukaan air adalah sangat penting terutama pada pipa sifon. Di sini  $S$  menurut Gb. 3.11 tidak boleh kurang dari  $20$  cm dari permukaan air terendah agar pipa tidak kemasukan udara.

Ujung pipa juga harus dipasang dengan lubang keluar dalam arah mendatar. Di samping itu tadah harus dibuat sedemikian rupa hingga aliran air tidak mengenai dinding sisi atau dasarnya. Dalam hal ini tinggi  $B$  dalam Gb. 3.11 harus lebih dari  $20$  cm, tetapi juga jangan terlalu tinggi karena kurang ekonomis.



Gb. 3.11 Ujung pipa keluar dan tadah keluar.

### 3.1.5 Tangki tekan

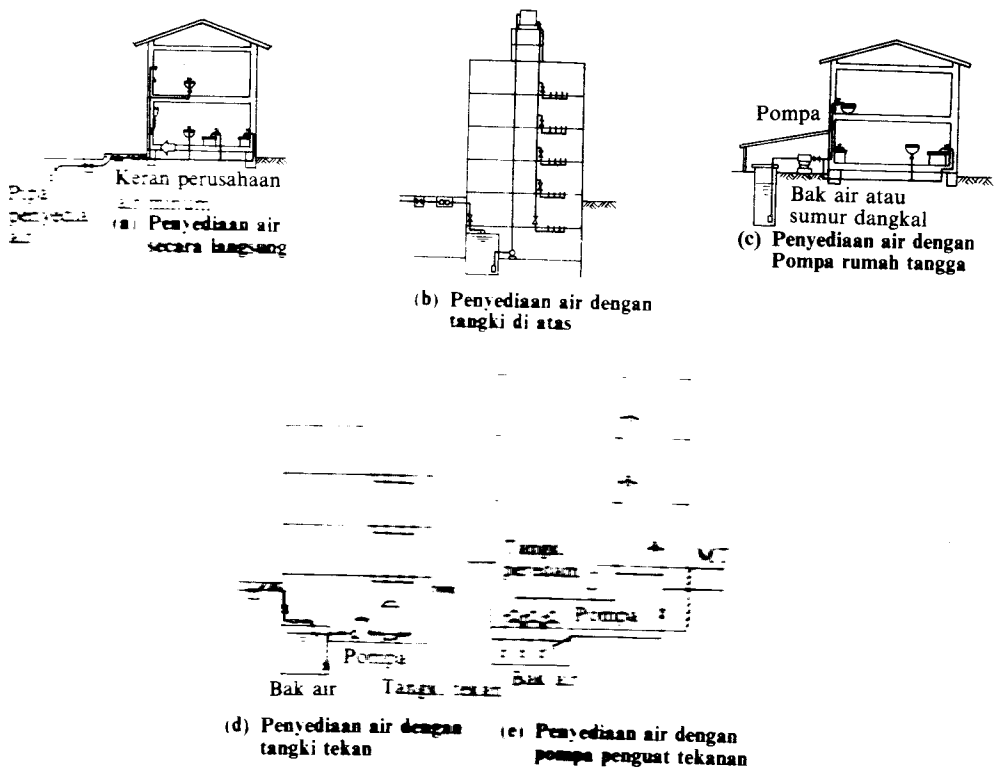
Sistem penyediaan air dengan sebuah pompa yang berkapasitas kecil, umumnya menggunakan tangki atas (head tank). Air dipompa ke tangki atas, kemudian dari tangki ini air dibagikan ke segala penjuru. Dalam banyak hal penggunaan tangki semacam ini tidak ekonomis. Karena itu akhir-akhir ini banyak orang yang menggunakan tangki tekan yang dipasang di dekat pompa. Pompa dioperasikan secara otomatis dengan tombol hidup-mati. Jika tekanan di dalam tangki berkurang sampai batas tertentu, pompa akan menyala, dan bila tekanan mencapai batas maksimumnya, pompa akan mati sendiri. Dari tangki ini air dibagikan ke segala penjuru. Ukuran tangki tekan yang dipakai ditentukan atas dasar laju kebutuhan air sedemikian rupa hingga pompa tidak terlalu sering hidup mati.

## 3.2 Contoh-contoh Pelayanan Pompa

### 3.2.1 Air minum

Pompa-pompa penyedia air mempunyai berbagai ukuran dari yang besar untuk perkotaan sampai yang kecil untuk gedung dan rumah tangga. Sistem penyediaan air untuk perkotaan harus ditangani secara profesional dengan peralatan yang rumit; karena itu tidak akan diuraikan di sini. Yang akan dibahas selanjutnya adalah sistem penyediaan air berskala kecil.

Dalam pretek penyediaan air, terdapat empat macam cara. (Lihat Gb. 3.12).



Gb. 3.12 Berbagai macam cara penyediaan air.

## (1) Penyediaan langsung dari pipa air kota

Di sini air dari pipa perusahaan air minum kota disalurkan langsung ke dalam gedung ke segala titik pemakaian. Jadi tekanan yang diperlukan diperoleh langsung dari pusat air minum. Cara ini hanya terbatas untuk gedung-gedung bertingkat rendah. (Lihat Gb. 3.12a).

## (2) Penyediaan air dengan tangki atas (Gb. 3.12b)

Cara ini dipakai jika penyaluran air langsung ke titik-titik tertentu yang memerlukan di dalam gedung tak dapat dilakukan karena tekanannya kurang tinggi. Untuk mengatasi hal ini sebuah tangki atas harus dipasang di puncak gedung atau di atas menara air. Dari tangki ini air dibagikan ke berbagai titik. Sumber air untuk sistem ini dapat berasal dari perusahaan air minum kota atau dari sumur. Air dari sumber tersebut ditampung di sebuah reservoir lalu dipompa ke tangki atas. Pada umumnya pompa yang dipakai dioperasikan secara otomatis. Pompa menyala bila permukaan air turun sampai batas terendah, dan mati bila air mencapai batas maksimum di dalam tangki.

## (3) Penyediaan air dengan tangki tekan (Gb. 3.12c, d)

Cara ini dipergunakan jika air dari perusahaan air minum kota tidak cukup tekanannya untuk mencapai titik-titik yang tinggi di dalam gedung. Dalam hal ini sebuah tangki tekanan, yang berupa bejana tertutup, dipasang di dekat pompa. Air dari reservoir dipompa ke dalam tangki tekanan ini, kemudian disalurkan ke segala penjuru dengan tekanan udara yang terkurung di bagian atas tangki. Dengan tombol tekanan yang terdapat di tangki tekan, pompa dinyalakan dan dimatikan secara otomatis oleh tekanan udara di dalamnya.

Dengan cara ini tekanan tinggi dapat diperoleh tanpa tangki atas sehingga lebih ekonomis. Sistem ini akan lebih baik jika dilengkapi dengan kompresor yang bekerja otomatis memberikan udara tekan ke dalam tangki tekan. Dengan demikian pompa air tidak terlalu sering hidup mati bila volume tangki tidak berapa besar.

## (4) Penyediaan air dengan pompa penguat (Gb. 3.12e)

Sistem ini tidak memakai tangki atas maupun tangki tekan. Jadi air dipompa langsung dari reservoir ke titik-titik pemakai. Pompa yang dipakai biasanya ada beberapa. Salah satu bekerja terus menerus dan yang lain dapat hidup secara otomatis apabila kebutuhan air meningkat melebihi kapasitas satu pompa. Cara semacam ini yang paling sederhana diperlihatkan dalam Gb. 3.12(e) di mana sistem dilengkapi dengan sebuah tangki peredam (surge tank). Tangki peredam ini berfungsi meratakan fluktuasi tekan di dalam pipa pada saat ada pompa yang dihidupkan atau dimatikan. Dalam hal ini ukuran tangki peredam harus cukup besar agar cukup efektif meratakan tekanan dan mengurangi frekuensi hidup-matinya pompa.

Karena ada satu pompa yang beroperasi terus menerus, maka biaya listrik untuk sistem ini dapat sangat tinggi. Jadi sistem ini hanya sesuai apabila ada kebutuhan air yang hampir tetap dan tidak banyak berubah dalam jangka waktu lama. Untuk sistem semacam ini seringkali dipakai motor penggerak yang dapat diatur putarannya pada sedikitnya satu pompa.

### 3.2.2 Pengairan

Pompa-pompa yang dipakai untuk pengairan lahan lahan pertanian umumnya menggunakan air tawar. Dalam banyak hal dapat dipakai pompa dengan konstruksi standar. Laju aliran atau kapasitas yang diperlukan dapat ditentukan menurut butir 2.2.1(5).

Jika laju aliran telah ditetapkan maka langkah selanjutnya adalah sama dengan langkah-langkah untuk memilih pompa biasa. Untuk pengairan banyak dipakai pompa sentrifugal dan pompa aliran campur standar.

Pada pengairan siram, head total pompa yang diperlukan adalah sangat tinggi karena nosel-nosel penyemprot pada sistem ini memerlukan tekanan tinggi. Oleh karena itu untuk pengairan siram sering dipakai pompa bertingkat banyak.

Sebagai penggerak dipakai motor listrik untuk pompa pengairan yang stasioner. Untuk pompa-pompa Portabel banyak dipakai motor torak.

### 3.2.3 Industri Kimia dan Industri Minyak

Berbagai jenis pompa dipakai dalam sistem produksi dan transportasi di paberi kimia dan kilang minyak. Dalam instalasi ini juga ditangani berbagai jenis zat cair sehingga diperlukan berbagai jenis pompa yang menggunakan berbagai jenis bahan dan konstruksi.

Namun demikian, pompa yang paling banyak dipakai adalah pompa sentrifugal isapan tunggal. Untuk masing-masing pompa ini harus dipilih bahan yang sesuai dengan zat cair yang akan dipompa.

Pompa-pompa yang dipakai di dalam paberi kimia sering mempunyai konstruksi yang mirip dengan pompa untuk penggunaan biasa (jenis tugas ringan). Namun untuk kilang minyak, pada umumnya dipergunakan pompa jenis tugas berat (lihat butir 4.8.5).

Untuk kedua bidang pemakaian tersebut di atas sering kali diperlukan sil mekanis untuk mencegah kebocoran zat cair melalui poros ke luar pompa.

Pompa-pompa untuk industri minyak dipakai bukan hanya untuk pengilangan tetapi juga penyaluran. Bila diperlukan penyaluran minyak melalui pipa berjarak jauh umumnya dipakai pompa sentrifugal bertingkat banyak. Pompa ini mempunyai head sangat tinggi tetapi kapasitas alirannya tidak begitu besar.

### 3.2.4 Industri Lain

Pompa-pompa untuk pemakaian umum dan pemakaian khusus banyak dipakai dalam industri. Contoh-contoh pemakaian khusus akan diuraikan di bawah ini.

#### (1) Paberi kertas pulp

Dalam proses pembuatan pulp sebagai bahan baku paberi kertas, umumnya dipakai air sebagai pengangkut zat padat kertas. Jadi pompa bahan ini memegang peranan yang sangat penting.

Bahan kertas pulp mengandung air dalam jumlah besar. Jadi kondisi aliran bahan ini adalah sangat sukar. Untuk mengangkut dengan head berat 1 %, dapat dipakai pompa volut untuk air bersih. Bila headnya lebih besar dari itu, yaitu sampai 7 atau 8 %, maka harus dipakai pompa volut untuk bahan kertas yang mempunyai impeler jenis bebas sumbatan (*non-clogging*). Silu besar head terletak antara 8 sampai 14 % harus dipergunakan pompa roda gigi dengan gigi gigi khusus.

#### (2) Industri makanan

Industri makanan memakai pompa sentrifugal yang memenuhi syarat-syarat kebersihan dan kesehatan. Pompa ini dipakai untuk mengangkut zat makanan cair di dalam proses paberi. Jenis pompa yang dipergunakan terdiri dari berbagai macam seperti pompa sentrifugal dan pompa volumetrik (perpindahan positif) seperti pompa torak dan pompa putar.

Pompa-pompa yang dipakai dalam industri makanan harus tahan terhadap kebocoran minyak pelumas ke dalam makanan dan pembersihannya tidak mudah. Bahan yang dipergunakan adalah baja tahan karat.

### (3) Galangan kapal

Pada galangan kapal untuk pembuatan dan pemeliharaan kapal, pompa dipakai untuk mengosongkan air dari galangan. Sebuah pompa dengan kapasitas besar dan head rendah, berporos tegak, jenis aliran campur, umum dipakai akhir-akhir ini. Karena ruangan yang tersedia untuk instalasi pompa sangat terbatas maka perencanaan tata letak pompa harus dilakukan dengan hati-hati.

Pompa galangan kapal biasa distart pada head nol bila permukaan di luar dan di dalam galangan sama tingginya. Head ini semakin tinggi bila ruang air di dalam galangan semakin kosong. Jadi pompa bekerja pada head yang terus menerus berubah.

### 3.2.5 Pompa Drainase

Untuk mengeringkan air hujan dari suatu daerah yang luas seperti lahan pertanian dan kota, diperlukan pompa-pompa berdiameter besar untuk menanggulangi jumlah air yang banyak. Head yang diperlukan umumnya rendah sehingga sering dipakai pompa aksial atau aliran campur.

Sebagai penggerak, dalam banyak hal dipergunakan motor Diesel, karena jumlah jam kerjanya per tahun sangat rendah, dan juga karena pompa ini harus tetap dapat bekerja bila listrik padam.

Gb. 3.13 memperlihatkan contoh yang khas dari sebuah pusat pompa drainase. Pusat pompa ini menggunakan sebuah pompa aksial berukuran kecil dan sebuah berukuran besar. Pompa yang kecil dijalankan dengan motor listrik untuk operasi normal. Pompa yang besar digerakkan oleh motor Diesel dan dipergunakan untuk menanggulangi saat-saat terjadi banjir atau hujan besar.

Di samping pompa-pompa tersebut di atas, terdapat juga peralatan lain berupa pompa vakum untuk memancing pompa dengan mengeluarkan udara dari dalam pompa dan pipa-pipa. Juga terdapat pompa air pendingin dan air perapat, serta sebuah kompresor untuk menstart motor Diesel.

### 3.2.6 Pelayanan Pusat Tenaga

Berbagai pompa dipakai dalam pusat tenaga. Namun di sini hanya akan diuraikan beberapa jenis saja yang khas.

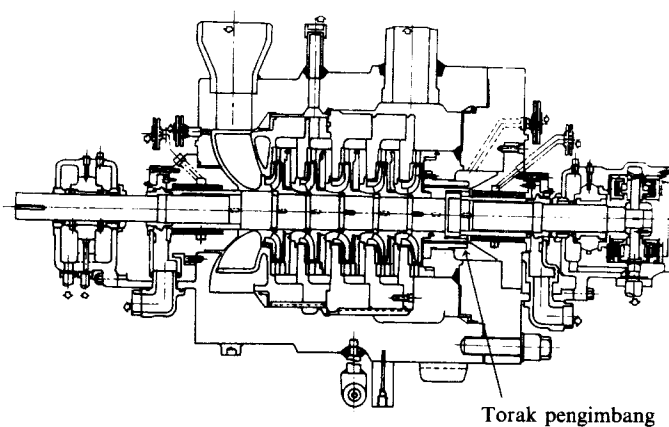
#### (1) Pompa air pengisi ketel

Pompa ini berfungsi memasukkan air pengisi ke dalam ketel yang bertekanan tinggi. Karena itu pompa ini harus bertekanan tinggi dan tahan temperatur tinggi pula. Dengan demikian harus diberikan perhatian khusus pada bahan dan konstruksinya.

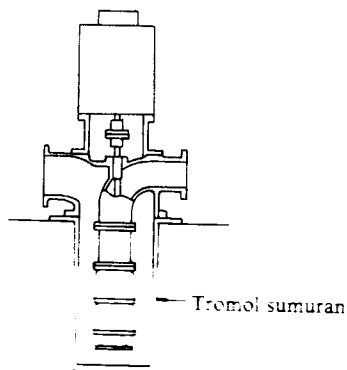
Untuk kapasitas kecil umumnya dipakai pompa difusor bertingkat banyak di mana masing-masing tingkat disatukan dengan yang lain secara bersambung dengan baut-baut panjang.

Untuk kapasitas besar dan tekanan tinggi dipergunakan pompa pengisi ketel jenis tromol seperti diperlihatkan dalam Gb. 3.14. Jenis tromol seperti diperlihatkan dalam Gb. 3.14. Jenis tromol ini terdiri dari sebuah tromol yang berfungsi sebagai bejana penahan tekanan dan sebuah pompa yang diletakkan di dalamnya. Nosel isap dan nosel keluar dipasang pada tromol ini sehingga pompa dapat dikeluarkan dari dalam tromol





Gb. 3.14 Konstruksi sebuah pompa difusor bertingkat banyak dengan rumah berbentuk tromol (untuk air pengisi ketel).



Gb. 3.15 Pompa jenis tromol sumuran.

### (3) Pompa sirkulasi air

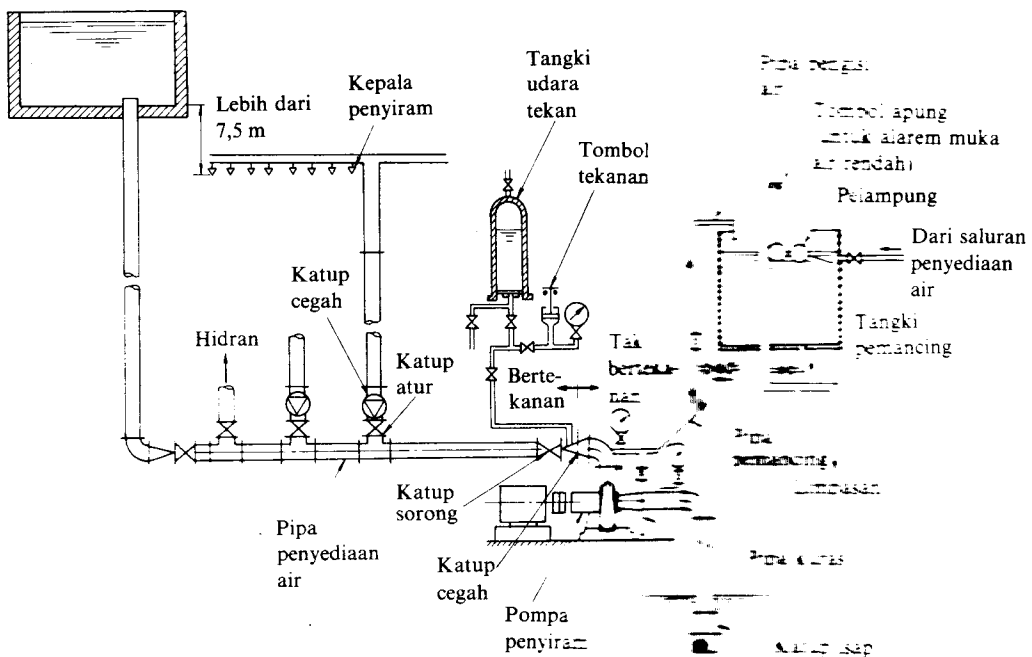
Pompa ini mengalirkan air pendingin ke kondensor. Biasanya diperlukan pompa dengan diameter keluar yang besar karena debit yang dialirkan cukup besar. Jika dipergunakan air laut atau air sungai sebagai pendingin, biasanya diperlukan head setinggi 10 m. Untuk ini sering dipakai pompa aliran campuran dengan poros tegak. Jika air pendingin harus disirkulasikan melalui menara pendingin, head yang diperlukan menjadi tinggi. Dalam hal ini pemakaian pompa volut isapan ganda akan lebih sesuai.

Jika dipergunakan air laut sebagai pendingin, harus diadakan pencegahan korosi. Untuk ini biasanya ada tiga macam cara: dengan bahan tahan korosi (misalnya baja tahan karat), pelindung elektrolitik, dan pelapisan dengan bahan tahan karat (seperti resin epoxy, dll).

### 3.2.7 Pelayanan gedung

Seperti telah diuraikan dalam butir 2.2.1 (6), gedung-gedung memerlukan pompa untuk penyediaan air minum, pendingin udara (A.C.), pemanas, pemadam kebakaran, dll. Pompa-pompa ini dipakai dengan berbagai cara untuk penyediaan air, seperti misalnya dengan tangki atas, tangki tekan, dan pompa penguat.

Tangki atas  
(sumber penyediaan  
air sekunder)



Gb. 3.16 Bagan sebuah instalasi pompa pemadam.

Jenis pompa yang sering dipergunakan adalah pompa sentrifugal bertingkat banyak tergantung pada kapasitas aliran dan tekanannya.

Mengenai penggunaan untuk AC dan pemadam, sering kali pompa diperlukan untuk sirkulasi air bersih. Dengan demikian sering dipakai pompa sentrifugal biasa, kecuali jika menyangkut temperatur dan tekanan tinggi.

Sistem pemadam kebakaran akhir-akhir ini semakin sering menggunakan pompa penyiram. Di sini kepala penyiram dipasang pada tingkat-tingkat di suatu bangunan, seperti diperlihatkan dalam bagan pada Gb. 3.16. Jika terjadi kebakaran, pompa penyiram akan hidup secara otomatis untuk mengalirkan air ke tingkat-tingkat penyiram yang selanjutnya akan menyemprotkan air ke dalam ruangan. Agar dapat langsung mengalirkan air pada saat dimunculkan, pompa harus selalu berisi air. Untuk itu pompa diperlengkapi dengan katup katup katup pemancing, seperti diperlihatkan dalam gambar.

Di samping pompa air bersih, pada gedung-gedung sering dipakai pompa air limbah.



## 4 | KONSTRUKSI POMPA

### 4.1 Klasifikasi Menurut Jenis Impeler

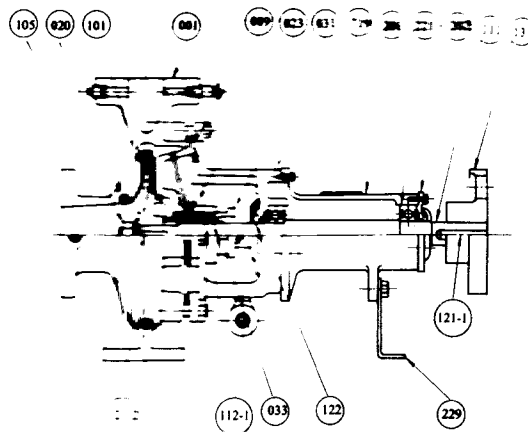
#### (1) Pompa sentrifugal

Pompa ini mempunyai konstruksi sedemikian rupa hingga aliran zat cair yang keluar dari impeler akan melalui sebuah bidang tegak lurus poros pompa. Hal ini secara diagramatik diperlihatkan dalam Gb. 1.4. Namun konstruksi yang sebenarnya dari pompa-pompa yang banyak dipakai adalah seperti diperlihatkan dalam Gb. 4.1.

Impeler dipasang pada satu ujung poros, dan pada ujung yang lain dipasang kopling untuk meneruskan daya dari penggerak. Poros ditumpu oleh dua buah bantalan. Sebuah paking atau perapat dipasang pada bagian rumah yang ditembus poros, untuk mencegah air membocor keluar atau udara masuk ke dalam pompa. Dalam Gb. 4.1 diperlihatkan paking sebagai perapat poros. Namun selain paking juga dapat digunakan perapat mekanis.

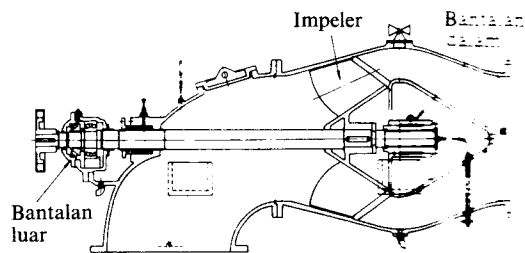
#### (2) Pompa aliran campur

Seperti diperlihatkan dalam Gb. 1.7 secara diagramatik aliran yang meninggalkan

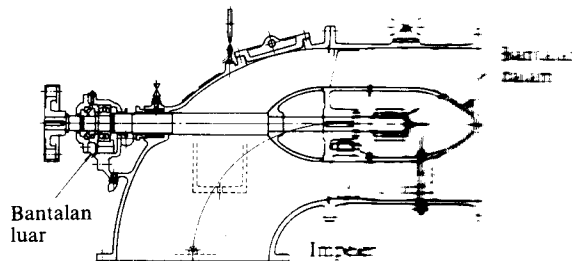


No.	Nama bagian	No.	Nama bagian	No.	Nama bagian
011	Rumah	101	Impeler	201	Rumah bantalan
009	Tutup rumah	105	Mur impeler	202	Tutup bantalan
020	Cincin penyekat	111	Poros	221	Bantalan bola
023	Cincin perapat	112-1	Selubung	229	Penopang
031	Penekan paking	121-1	Pasak	719	Penyangga
033	Paking	121-2	Pasak		
		122	Cincin pelempar		
		131	Kopling		

Gb. 4.1 Pompa sentrifugal.



Gb. 4.2 Pompa aliran campur



Gb. 4.3 Pompa aliran aksial

impeler akan bergerak sepanjang permukaan katup di dalam pompa aliran campur ini. Adapun konstruksi yang sesungguhnya diperlihatkan dalam Gb. 4.2.

Salah satu ujung poros di mana impeler dipasang didukung oleh bantalan dalam. Pada ujung yang lain dipasang kopling dengan sebuah bantalan luar di dekatnya. Bantalan luar terdiri dari sebuah bantalan aksial dan sebuah bantalan radial, yang pada umumnya berupa bantalan gelinding. Untuk bantalan dalam dipakai jenis bantalan luncur yang dilumasi lemak.

#### 4.1 Pompa aliran aksial

Seperti diperlihatkan dalam Gb. 4.3, aliran air dari katup meninggalkan impeler akan bergerak sepanjang permukaan silinder ke luar. Adapun konstruksi pompa aliran aksial yang sesungguhnya diperlihatkan dalam Gb. 4.3.

Konstruksi pompa ini sama dengan pompa aliran campur dalam bentuk impeler dan difuser di dalamnya.

## 4.2 Klasifikasi Menurut Bentuk Rumah

### (1) Pompa volut

Sebuah pompa sentrifugal di mana air dari impeler secara langsung dibawa ke rumah volut, seperti diperlihatkan dalam Gb. 4.4 atau Gb. 4.5 disebut pompa volut.

### (2) Pompa difuser

Seperti terlihat dalam Gb. 4.5, pompa ini adalah sebuah pompa sentrifugal yang dilengkapi dengan sudu difuser di keliling luar impelernya. Konstruksi bagian-bagian lain pompa ini adalah sama dengan pompa volut.

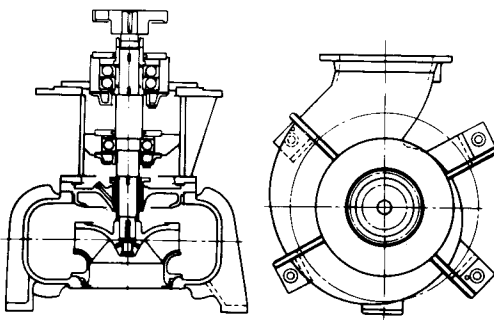
Karena sudu-sudu difuser, di samping memperbaiki efisiensi pompa, juga menambah kokoh rumah, maka konstruksi ini sering dipakai pada pompa besar dengan head

tinggi. Pompa ini juga sering dipakai sebagai pompa bertingkat banyak karena aliran dari satu tingkat ke tingkat berikutnya dapat dilakukan tanpa menggunakan volut.

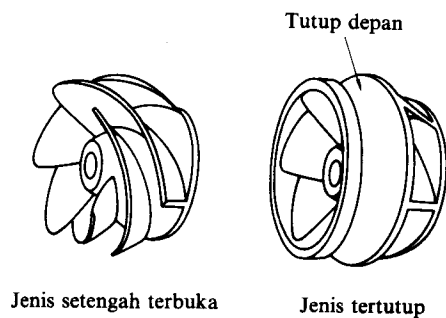
(3) Pompa aliran campur jenis volut

Pompa ini mempunyai impeler jenis aliran campur dan sebuah rumah volut seperti diperlihatkan dalam Gb. 4.4. Di sini tidak dipergunakan sudu-sudu difuser melainkan dipakai saluran yang lebar untuk mengalirkan zat cair. Dengan demikian pompa tidak mudah tersumbat oleh benda asing yang terisap, sehingga pompa ini sangat sesuai untuk air limbah.

Gb. 4.4 merupakan contoh pompa dengan poros tegak seperti pompa sentrifugal.



Gb. 4.4 Pompa aliran campur jenis volut.



Gb. 4.5 Impeler.

Adapun impeler yang dipergunakan di sini adalah jenis setengah terbuka, yaitu tidak mempunyai tutup depan (Gb. 4.5). Konstruksi seperti ini tidak mudah tersumbat benda padat dibandingkan dengan impeler tertutup, sehingga sesuai untuk memompa air buangan.

### 4.3 Klasifikasi Menurut Jumlah Tingkat

(1) Pompa satu tingkat

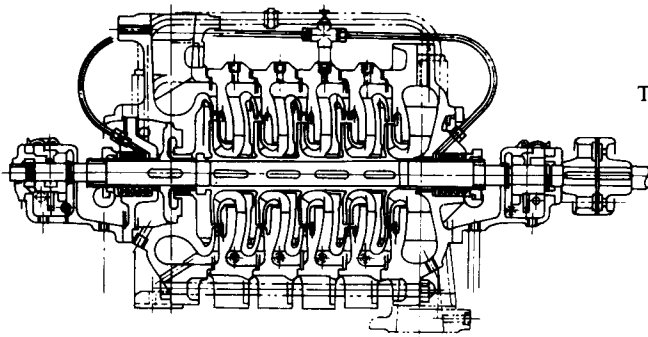
Pompa ini hanya mempunyai satu impeler seperti diperlihatkan dalam Gb. 4.1 s/d 4.4. Head total yang ditimbulkan hanya berasal dari satu impeler, relatif rendah.

(2) Pompa bertingkat banyak

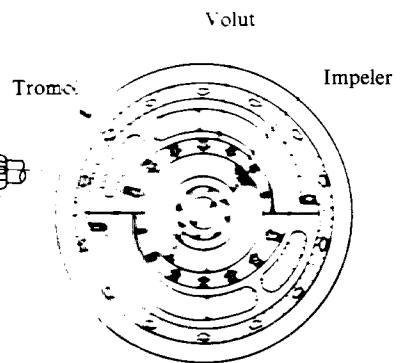
Pompa ini menggunakan beberapa impeler yang dipasang secara berderet (seri) pada satu poros. Zat cair yang keluar dari impeler pertama dimasukkan ke impeler berikutnya dan seterusnya hingga impeler yang terakhir (Gb. 4.6). Head total pompa ini merupakan jumlahan dari head yang ditimbulkan oleh masing-masing impeler sehingga relatif tinggi.

Pada umumnya impeler-impeler tersebut dipasang menghadap ke satu arah pada poros seperti pada Gb. 4.6. Namun pemasangan semacam itu akan menimbulkan gaya aksial yang besar sehingga dalam banyak hal diperlukan cara-cara tertentu untuk mengurangnya. Hal ini akan diuraikan dalam pasal 4.9.

Pompa bertingkat pada umumnya memakai difuser seperti diuraikan dalam pasal 4.2. Namun ada pula beberapa yang hanya memakai volut. Dalam hal ini sering dipakai



Gb. 4.6 Pompa bertingkat banyak.



Gb. 4.7 Rumah volut kembar dari sebuah pompa bertingkat banyak.

rumah volut kembar untuk mengurangi gaya radial ~~sebagaimana ditunjukkan~~ dalam Gb. 4.7. Gambar ini menunjukkan potongan menurut bidang tegak lurus poros.

#### 4.4 Klasifikasi Menurut Letak Poros

##### (1) Pompa jenis poros mendatar

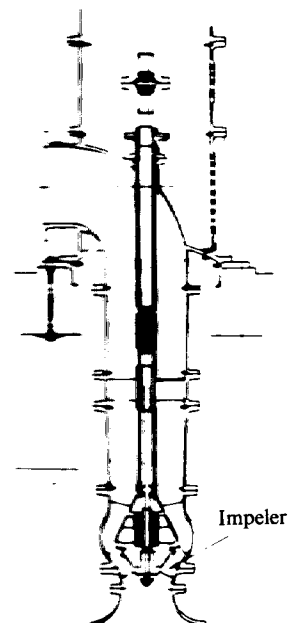
Pompa ini mempunyai poros dengan posisi mendatar ~~seperti terlihat~~ dalam Gb. 4.1 s/d 4.3 dan 4.6.

Untuk memperbandingkan pompa ini dengan pompa ~~berporos tegak~~, dapat dilihat pasal 2.6.1. butir (2)(a).

##### (2) Pompa jenis poros tegak

Pompa ini mempunyai poros dengan posisi tegak, seperti diperlihatkan dalam Gb. 4.4. Pompa aliran campur dan pompa aksial sering dibuat dengan poros tegak seperti contoh dalam Gb. 4.8. Rumah pompa semacam ini digantung pada lantai oleh pipa kolom yang menyalurkan zat cair dari pompa ke atas. Poros pompa yang menggerakkan impeler dipasang sepanjang sumbu pipa kolom dan dihubungkan dengan motor penggerak pada lantai. Poros ini dipegang di beberapa tempat sepanjang pipa kolom oleh bantalan (yang sering terbuat dari karet). Poros ini dapat disekeliling oleh pipa selubung yang berfungsi juga sebagai penyalur air pelumas.

Pompa yang ~~diperlihatkan~~ dalam Gb. 4.4 disebut "jenis sumuran kering" karena dipasang di luar tadah isap dan menarik air melalui pipa isap. Pompa dalam Gb. 4.8 sering disebut "jenis sumuran basah".

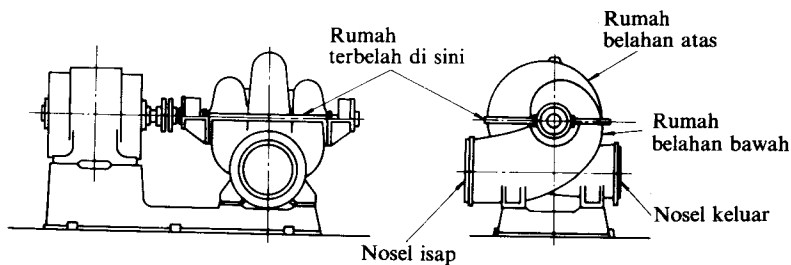


Gb. 4.8 Pompa aliran campur tegak.

## 4.5 Klasifikasi Menurut Belahan Rumah

### (1) Pompa jenis belahan mendatar

Pompa jenis ini mempunyai rumah yang dapat dibelah dua menjadi bagian bawah dan bagian atas oleh bidang mendatar yang melalui sumbu poros. Jadi bagian yang berputar dapat diangkat setelah rumah belahan atas dibuka (Lihat Gb. 4.9). Karena nosel isap dan nosel keluar keduanya terpasang pada rumah belahan bawah, maka pada waktu pompa dibuka, pipa isap dan pipa keluar tidak perlu dilepaskan. Dengan demikian pembongkaran dapat dilakukan lebih mudah. Karena keuntungan ini pompa jenis rumah terbelah sering dipakai pada pompa berukuran menengah dan besar dengan poros mendatar.



Gb. 4.9 Pompa jenis belah mendatar.

### (2) Pompa jenis belahan radial

Rumah pompa jenis ini terbagi oleh sebuah bidang yang tegak lurus poros, seperti diperlihatkan dalam Gb. 4.1. Pompa ini mempunyai konstruksi yang relatif sederhana serta menguntungkan sebagai bejana bertekanan karena bidang belahan tidak mudah bocor. Sebab itu konstruksi seperti ini sering dipakai untuk pompa-pompa kecil dengan poros mendatar. Jenis ini juga sesuai untuk pompa berporos tegak di mana bagian-bagian yang berputar dapat dibongkar ke atas sepanjang poros. Contoh konstruksi ini diperlihatkan dalam Gb. 4.4.

### (3) Pompa jenis berderet

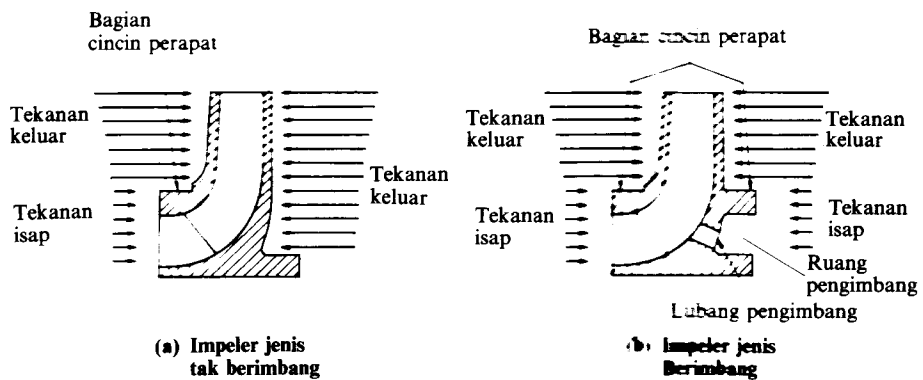
Jenis ini terdapat pada pompa bertingkat banyak yang di mana rumah pompa terbagi oleh bidang-bidang tegak lurus poros sesuai dengan jumlah tingkat yang ada. Tiap bagian rumah ini berbentuk sama seperti terlihat dalam Gb. 4.6.

Konstruksi seperti ini pada dasarnya mirip jenis belahan radial yang tidak mudah bocor oleh tekanan dari dalam. Selain itu, masing-masing tingkat biasanya dibuat dengan bentuk dan ukuran yang sama sehingga dapat disusun dalam jumlah yang sesuai untuk mendapatkan head total pompa yang dikehendaki.

## 4.6 Klasifikasi Menurut Sisi Masuk Impeler

### (1) Pompa isapan tunggal

Pada pompa ini zat cair masuk dari satu sisi impeler seperti pada Gb. 4.1. Konstruksinya sangat sederhana sehingga banyak dipakai. Namun, seperti terlihat dalam Gb. 4.10(a), tekanan yang bekerja pada masing-masing sisi impeler tidak sama sehingga akan timbul gaya aksial ke arah sisi isap. Gaya ini dapat ditahan oleh bantalan aksial jika ukuran pompa cukup kecil. Namun untuk pompa besar harus dicari cara untuk



Gb. 4.10 Tekanan air yang bekerja pada sisi impeler.

mengurangi gaya aksial ini agar tidak perlu dipakai bantalan aksial yang terlalu besar. Salah satu cara untuk mengatasi hal ini diperlihatkan dalam Gb. 4.10(b). Di sini dipergunakan sebuah ruang pengimbang yang diameternya sama dengan diameter isap impeler. Ruang ini dihubungkan dengan sisi isap impeler melalui lubang pengimbang agar tekanannya sama sehingga tidak timbul gaya aksial. Pada Gb. 4.10(a) diperlihatkan jenis "tak berimbang" sedang pada Gb. 4.10(b) jenis "berimbang".

#### (2) Pompa isapan ganda

Pompa ini memasukkan air melalui kedua sisi impeler seperti ditunjukkan dalam Gb. 4.6. Adapun bentuk sesungguhnya diperlihatkan dalam Gb. 4.11. Di sini poros yang menggerakkan impeler dipasang menembus kedua sisi rumah dan impeler dan ditumpu oleh bantalan di luar rumah. Karena itu poros menjadi lebih panjang dari pada pompa jenis lain.

Impeler jenis ini pada dasarnya sama dengan dua buah impeler pompa isapan tunggal yang dipasang secara bertolak belakang. Dengan demikian gaya aksial yang timbul akan saling mengimbangi menjadi nol.

Selain itu pompa ini juga dapat dipandang sebagai sebuah pompa yang mempunyai dua buah impeler yang bekerja secara sejajar (paralel). Dengan demikian laju aliran total sama dengan dua kali laju aliran yang melalui masing-masing impeler yang saling bertolak belakang tersebut. Dibandingkan dengan pompa isapan tunggal yang sama kapasitasnya, pompa isapan ganda mempunyai kemampuan isap yang lebih baik. Ini disebabkan laju aliran yang masuk masing-masing sisi isap hanya setengah dari laju aliran total.

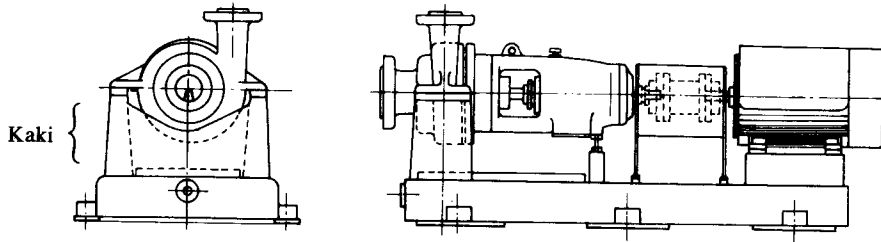


Gb. 4.11 Pompa volut jenis isapan ganda.

Jika NPSH yang tersedia sama, putaran pompa jenis ini dapat diperpanjang. Karena itu pompa jenis isapan ganda banyak dipakai sebagai pompa berukuran besar atau sedang.

#### 4.7 Pompa jenis Tumpuan Sumbu

Pompa jenis ini mempunyai kaki yang diperpanjang sampai setinggi sumbu poros untuk menumpu rumah. Maksudnya adalah apa bila terjadi pemuaian pada rumah karena kenaikan temperatur, tinggi sumbu poros tidak berubah. Dengan demikian sumbu poros pompa akan tetap segaris dengan sumbu poros motor penggerak, atau dengan perkataan lain, tidak terjadi misalignment. (Lihat Gb. 4.12).



Gb. 4.12 Pompa dengan tumpuan di sumbu.

Pompa-pompa jenis ini sering dipakai sebagai pompa air pengisi ketel dan pompa-pompa proses untuk mengalirkan zat cair bertemperatur tinggi.

#### 4.8 Pompa Jenis Khusus

##### (1) Pompa dengan motor benam (submersible-motor)

Untuk memompa air dari sumur yang sangat dalam, sering dipakai pompa yang merupakan satu unit dengan motor penggeraknya, di mana keduanya dipasang terbenam di bawah permukaan air. Motor jenis ini ada beberapa macam seperti misalnya jenis berisi air yang diisi dengan air di dalamnya, jenis berisi minyak yang diisi minyak di dalamnya, dan jenis berisi gas.

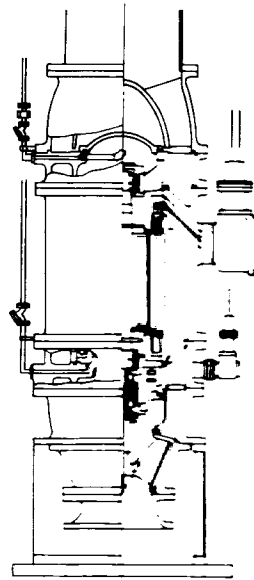
Gb. 4.13 memberikan contoh sebuah pompa sumur dalam dengan motor benam untuk memompa air tanah dari sumur dalam. Pompa ini dipasang di dalam sumur dengan digantung pada pipa penyalur (pipa kolom). Motor yang dipakai adalah jenis berisi air dan dipasang di bawah pompa bertingkat. Diameter pompa dibuat sekecil mungkin agar dapat dipasang di dalam sumur bor. Air mengalir ke dalam pompa melalui saringan yang terdapat di antara motor dan pompa. Selanjutnya air dialirkan ke atas melalui pipa kolom yang berfungsi juga sebagai penggantung unit pompa.

Gb. 4.14 menunjukkan pompa motor benam berisi minyak. Dalam hal ini motor dipasang di atas pompa. Poros motor menjadi satu dengan poros pompa dan sebagai perapat dipakai perapat mekanis. Untuk mencegah masuknya air ke dalam motor, tekanan minyak di dalam motor biasanya dibuat lebih tinggi dari pada tekanan air di luar perapat poros. Gb. 4.15 memberikan sebuah contoh pengisi minyak untuk keperluan tersebut. Alat pengisi minyak ini dilengkapi dengan pengaman yang dapat memberikan tanda bahaya bila ada air masuk ke dalam motor atau bila permukaan minyak di dalam tangki minyak menurun.

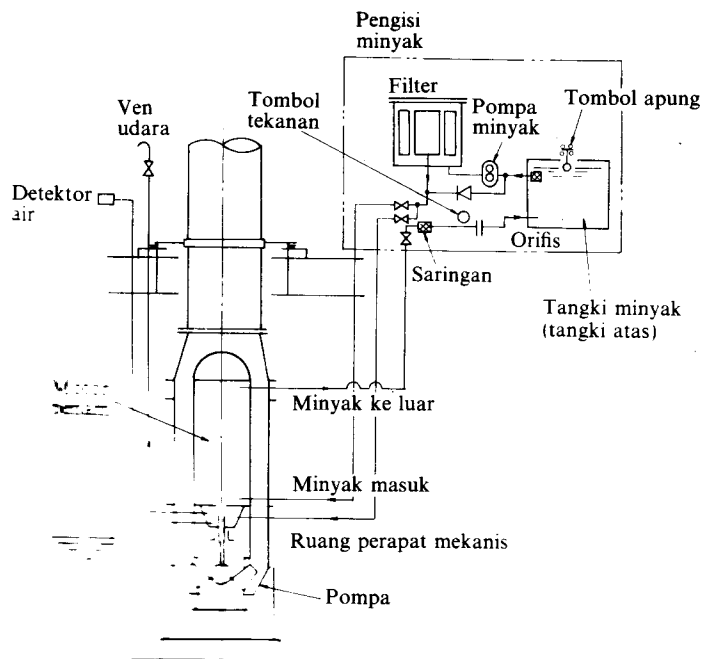
Pompa motor benam jenis ini dipakai untuk pengairan dan drainase.



Gb. 4.13 Pompa sumur dalam dengan motor benam (submersible).

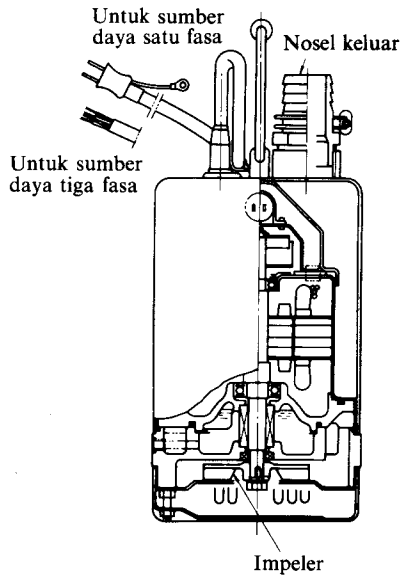


Gb. 4.14 Pompa aliran campur dengan motor benam berisi minyak.

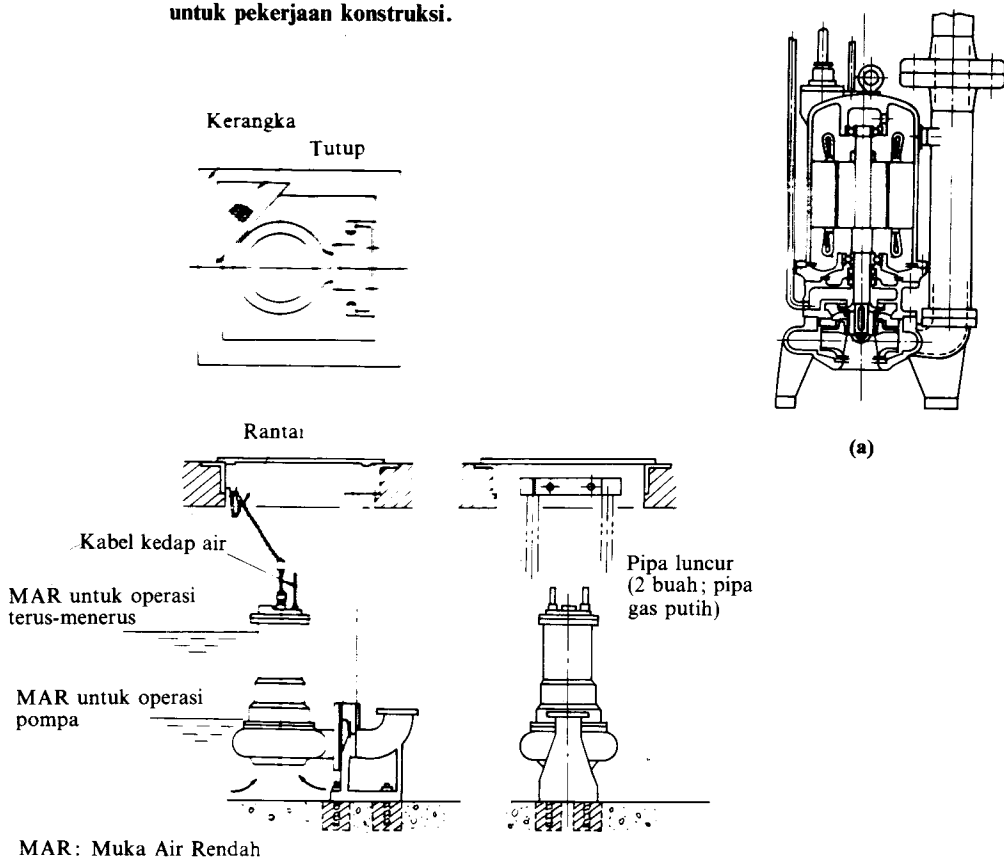


Gb. 4.15 Pelindung untuk motor benam yang diisi minyak.





**Gb. 4.16** Pompa portabel dengan motor benam untuk pekerjaan konstruksi.



**Gb. 4.17** Pompa babas sumbatan (non-clogging) untuk air limbah dengan motor benam.

Contoh sebuah pompa motor benam yang dipakai untuk pengeringan pada waktu pengerjaan bangunan sipil. diperlihatkan dalam Gb. 4.16. Pompa jenis ini harus mempunyai konstruksi yang sangat kokoh karena harus memompa air yang seringkali berpasir atau berlumpur. Selain itu juga harus dapat bekerja pada daerah operasi yang luas, dalam kondisi lingkungan yang buruk, serta penanganan yang kasar.

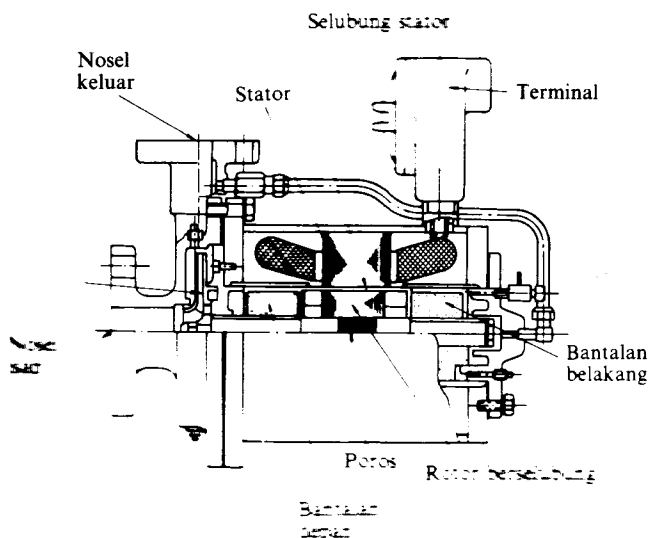
Motor jenis ini berisi gas dan memakai perapat mekanis pada porosnya. Pompa dipasang di bawah motor dan berfungsi sebagai pompa pasir. Jadi air yang permukaannya dekat pada dasarpun (sangat dangkal) masih dapat diisap.

Gb. 4.17(a) memberikan contoh sebuah pompa benam bebas sumbatan (non-clogging). Di sini dipakai motor berisi gas dan rumahnya berbentuk volut.

Karena pompa bebas sumbatan harus sering diperiksa maka pompa dibuat dapat diturunkan dan dinaikkan sepanjang pipa luncur. Untuk memasang dan mengambil pompa, orang tidak perlu masuk ke dalam tadah limbah.

## (2) Pompa motor berselubung

Pompa jenis ini dengan motornya merupakan satu unit seperti tampak dalam Gb. 4.18. Pada celah antara rotor dan stator motor terdapat selubung rotor dari logam anti magnet. Ruangan di dalam selubung ini dihubungkan dengan ruang dalam dari pompa. Dengan konstruksi ini maka tidak diperlukan lagi perapat poros. Sebagian zat cair yang dipompa, disirkulasikan melalui motor untuk pendinginan dan pelumasan bantalan.



Gb. 4.18 Pompa motor berselubung (canned motor).

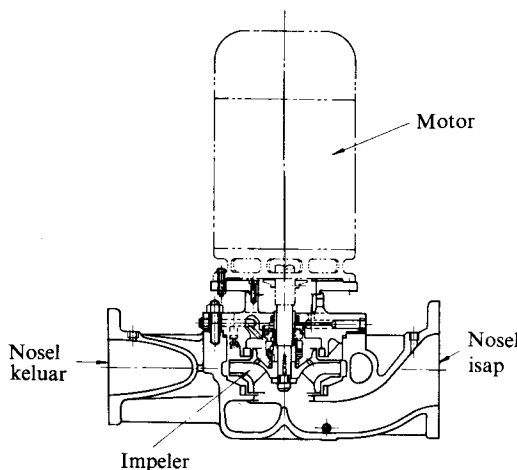
Karena tidak mempergunakan perapat poros maka pompa ini dipakai untuk memompa zat cair yang tidak bersih sekali.

## (3) Pompa sesumbu (inline)

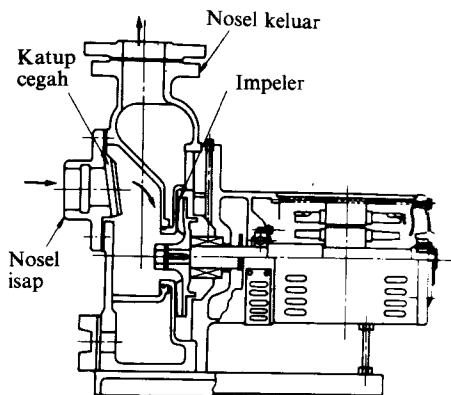
Pompa ini disebut demikian karena nosel sap dan nosel keluar terletak pada satu sumbu dengan pipa penyalur seperti diperlihatkan dalam Gb. 4.19. Rumah pompa dipasang langsung pada flens pipa tanpa menggunakan kaki, sehingga tidak memerlukan banyak ruangan. Pompa semacam ini biasanya berukuran kecil.

Pembongkaran pompa dapat dilakukan dengan hanya membuka tutup atas rumah.

Bersama-sama dengan tutup ini dapat diangkat seluruh bagian pompa yang terdapat mulai dari motor sampai impeler. Jadi untuk membongkar pompa, tutup rumah dapat dilepaskan dari pipa.



Gb. 4.19 Pompa jenis sesumbu (inline).



Gb. 4.20 Pompa jenis memancing sendiri (self-priming).

#### (4) Pompa memancing sendiri

Untuk dapat mulai memompa, sebuah pompa sentrifugal harus dipancing lebih dahulu. Caranya ialah dengan mengisi zat cair ke dalam pipa isap dan pompa hingga penuh, lalu dijalankan. Untuk memungkinkan pengisian tersebut, diperlukan katup isap (foot valve) yang dipasang pada ujung pipa isap. Pada pompa-pompa kecil, pengisian zat cair dapat dilakukan dengan menuangkannya ke dalam pompa. Pada pompa-pompa besar, pengisian dilakukan dengan mengisap udara dari dalam pompa dan pipa isap dengan pompa vakum.

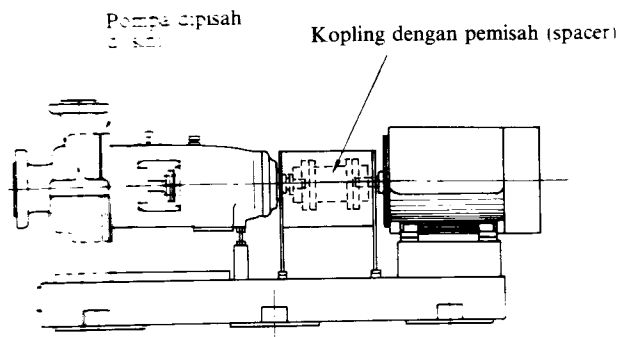
Pompa jenis memancing sendiri (Gb. 4.20), dibuat untuk mengatasi kerepotan di atas. Di sini pompa mempunyai ruangan yang dapat menyimpan sedikit air. Jika pompa dijalankan maka air yang terdapat di dalam ruang impeler akan naik ke ruang atas dari rumah sehingga udara dari pipa isap akan masuk ke dalam impeler. Di sini udara akan tercampur air dan ikut naik ke ruang atas rumah. Dari ruang atas ini udara akan dikeluarkan ke pipa keluar sedang airnya akan terpisah dan kembali ke impeler. Proses ini berjalan terus sampai semua udara di dalam pipa isap habis dan air dari pipa isap dapat masuk pompa. Maka pompa akan mulai dapat bekerja secara normal.

Pompa jenis ini biasanya hanya terdapat dalam ukuran kecil dan dipakai untuk keperluan-keperluan darurat atau tidak terus menerus.

#### (5) Pompa proses

Seperti telah diuraikan dalam pasal 3.2.3, berbagai macam pompa digunakan di pabarik kimia atau kilang minyak. Pompa-pompa ini dipakai untuk mengangkut bahan baku di dalam proses produksi dan semuanya disebut pompa proses.

Sebenarnya banyak sekali macam yang dipakai sebagai pompa proses. Namun di sini hanya akan ditunjukkan pompa yang khas yaitu jenis tarik-mundur isapan tunggal dengan rumah volut seperti dalam Gb. 4.21. Jenis ini banyak dipergunakan dalam pengilangan minyak.



Gb. 4.21 Pompa jenis tarik-mundur (back pullout).

Pompa ini mempunyai kopling dengan pemisah. Jika pemisah ini dilepas, maka bagian-bagian pompa yang berputar dapat ditarik mundur bersama-sama bantalannya. Karena itu pada waktu pembongkaran pipa-pipa dan motor tidak perlu dilepas sehingga memudahkan pemeliharaan.

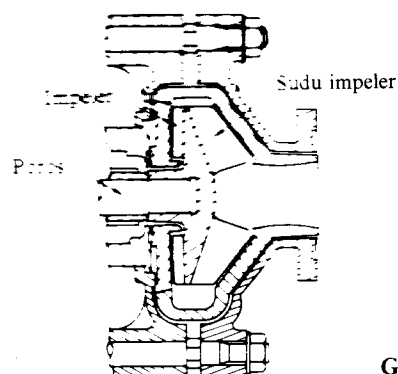
Selain dari pada itu pompa isapan ganda dan pompa bertingkat banyak juga dipakai untuk pompa proses tergantung pada head dan laju aliran yang diperlukan. Berbagai langkah khusus juga sering diambil untuk memenuhi persyaratan-persyaratan proses. Penggunaan bahan khusus yang sesuai dengan jenis dan temperatur zat cair yang dipompa, penggunaan sistem tumpuan sumbu, dll, merupakan contoh langkah-langkah tersebut.

#### (6) Pompa pasir

Pompa ini dipakai untuk mengangkut zat cair yang mengandung pasir atau butiran zat padat dalam jumlah besar. Dalam banyak hal diambil pompa volut isapan tunggal untuk maksud ini. Pompa yang khusus dipakai untuk memompa butiran padat dengan diameter kurang dari 125 mm sering disebut pompa lumpur (slurry pump).

Masalah terbesar yang dihadapi pompa pasir adalah keausan karena erosi dan penyumbatan oleh zat padat. Karena itu pemilihan bahan dan konstruksinya harus dilakukan secara cermat.

Gb. 4.22 menunjukkan pompa dengan dinding berlapis yang mempunyai lapisan dari bahan abrasif atau di sebelah dalam rumahnya. Lapisan ini dapat diganti jika aus. Untuk mencegah keausan, ada juga yang menggunakan lapisan karet lunak pada permukaan dalam dari rumahnya.

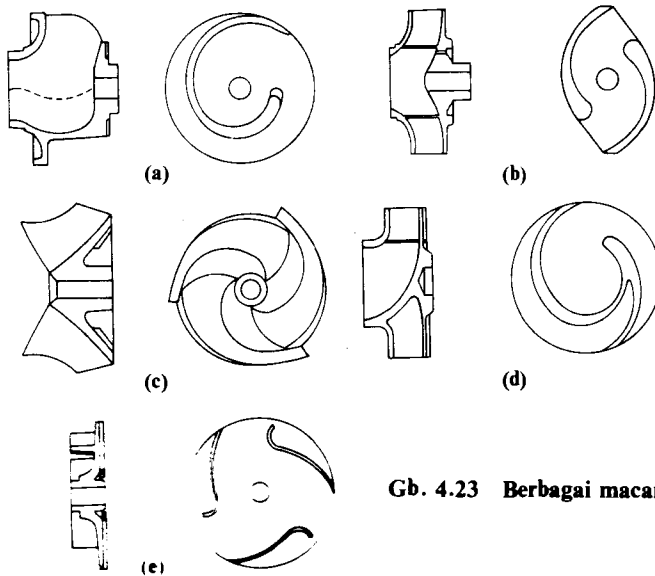


Gb. 4.22 Pompa lumpur (slurry).

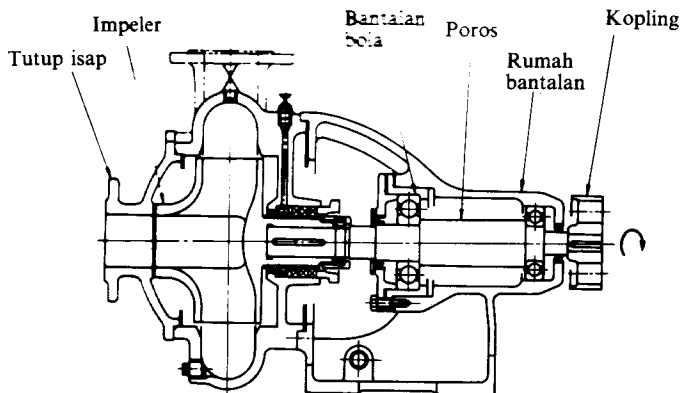
Pompa pasir kebanyakan mempunyai impeler terbuka dengan jumlah sudu sedikit untuk mencegah sumbatan pasir pada celah-celahnya.

(7) Pompa bebas sumbatan

Pompa jenis ini mempunyai impeler dengan bentuk khusus untuk mencegah sumbatan benda padat pada impelernya. Untuk maksud ini, lebar jalan keluar impeler diperbesar dan jumlah sudunya dikurangi satu sampai tiga buah (Lihat Gb. 4.23). Gb. 4.24 memberikan sebuah contoh pompa sentrifugal yang menggunakan impeler semacam ini.



Gb. 4.23 Berbagai macam impeler bebas sumbatan.



Gb. 4.24 Pompa bebas sumbatan.

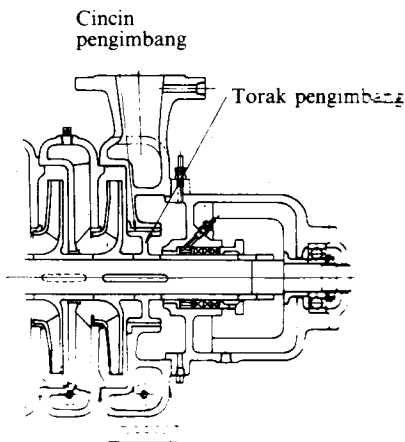
## 4.9 Alat Pengimbang Gaya Aksial

Seperti telah diutarakan dalam pasal 4.6, pada pompa dengan impeler jenis isapan

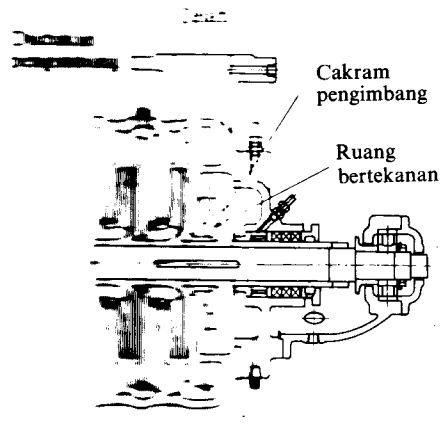
tunggal akan terjadi gaya aksial yang mendorong impeler ke arah sisi isap. Gaya ini menjadi sangat besar pada pompa bertingkat banyak sehingga akan diperlukan bantalan aksial yang besar untuk menahannya. Untuk mengatasi hal ini terdapat beberapa cara yang telah dikembangkan. Contoh-contoh yang akan akan diberikan seperti berikut ini.

#### (1) Torak pengimbang

Sistem ini menggunakan sebuah torak pengimbang yang dipasang di ujung pompa dekat impeler tingkat terakhir seperti terlihat dalam Gb. 4.25. Pada salah satu sisi torak ini bekerja tekanan yang berasal dari zat cair yang keluar dari impeler tingkat terakhir. Ruang pada sisi yang lain dari torak ini dihubungkan dengan sisi isap impeler tingkat pertama. Dengan demikian pada torak ini akan bekerja gaya total yang arahnya berlawanan dengan gaya aksial yang ditimbulkan dari impeler. Hampir seluruh gaya aksial tersebut dapat diimbangi oleh torak sehingga tekanan aksial yang ada hanya menahan sisa gaya yang tidak begitu besar.



Gb. 4.25 Torak pengimbang.



Gb. 4.26 Cakram pengimbang.

#### (2) Cakram pengimbang Gb. 4.26

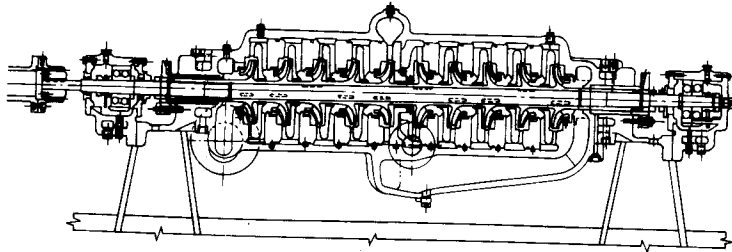
Cakram ini dipasang pada poros setelah impeler tingkat terakhir dari pompa bertingkat banyak. Berpacutan cakram ini dipasang sebuahudukan pengimbang pada ujungnya untuk sehingga tekanan dari zat cair antara cakram dan kedudukan ini. Ruang antara cakram dan kedudukan dihubungkan dengan sisi isap impeler tingkat terakhir sehingga mempunyai tekanan tinggi. Ruang di luar cakram dihubungkan dengan sisi isap impeler tingkat pertama yang mempunyai tekanan rendah. Zat cair dapat membores melalui celah.

Pada waktu pompa bekerja, maka antara cakram dan kedudukan akan diatur secara otomatis oleh selisih tekanan antara kedua sisi cakram. Gaya aksial yang timbul akan menyebabkan celah menyempit sehingga tekanan melalui celah mengecil dan tekanan di sebelah dalam cakram membesar. Tekanan ini akan mendorong cakram melawan gaya aksial hingga celah akan melebar pada keadaan seimbang.

Dengan cara ini gaya aksial akan dapat diimbangi oleh cakram secara tepat hingga tidak diperlukan lagi bantalan aksial.

## (3) Susunan berimbang

Jika pompa bertingkat banyak mempunyai impeler yang disusun berimbang dalam kelompok yang sama jumlahnya dan saling bertolak belakang (Gb. 4.27). Maka gaya aksial yang ditimbulkan oleh kedua kelompok impeler tersebut akan saling meniadakan. Namun dalam praktek tidak mudah diperoleh gaya yang betul-betul seimbang sehingga masih diperlukan bantalan aksial.



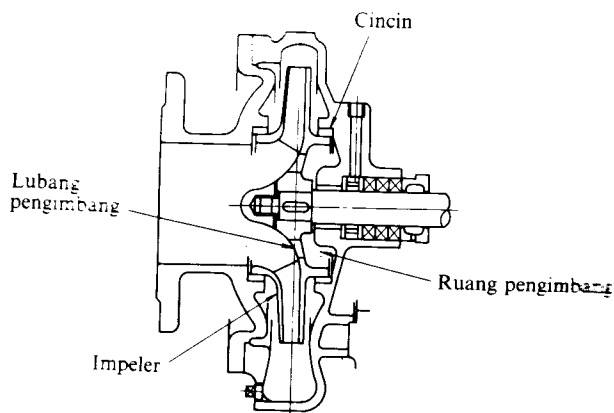
Gb. 4.27 Pompa dengan impeler yang dipasang saling bertolak belakang.

## (4) Lubang pengimbang

Cara ini menggunakan impeler yang mempergunakan cincin penyekat di dinding belakang impelernya untuk membentuk ruang pengimbang (Gb. 4.28). Ruang ini dihubungkan dengan sisi isap impeler oleh lubang pengimbang. Dengan demikian hampir tidak terdapat selisih tekanan antara sisi belakang dan sisi depan (sisi isap) impeler sehingga gaya aksial dapat diperkecil secara drastis. Sisa gaya aksial yang ada cukup ditahan oleh bantalan aksial kecil saja.

## (5) Bantalan aksial

Dari uraian di atas dapat disimpulkan bahwa bantalan aksial selalu diperlukan untuk menahan seluruh atau sebagian gaya aksial yang timbul, kecuali jika dipergunakan cakram pengimbang.



Gb. 4.28 Lubang pengimbang.

## 5 | OPERASI

Berbagai masalah dalam operasi peralatan pompa yang harus diperhatikan dalam tahap perencanaan akan diuraikan di bawah ini.

### 5.1 Kurva Head Kapasitas Pompa Dan Sistem

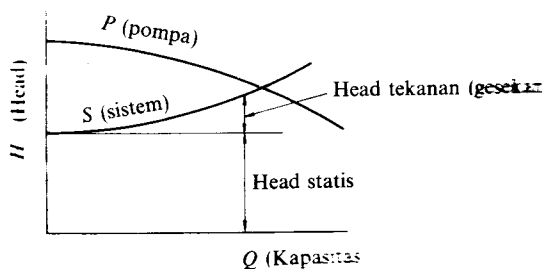
Kurva head-kapasitas dari pompa telah diterangkan dalam pasal 1.4. Kurva ini menyatakan kemampuan pompa untuk menentukan head  $H$  yang besarnya tergantung pada besarnya kapasitas atau laju aliran  $Q$ .

Dalam operasinya, pompa harus dapat memenuhi head yang diperlukan oleh sistem pipa. Karena itu, di samping kurva head-kapasitas dari pompa perlu diketahui pula kurva head-kapasitas dari sistem.

Besarnya head sistem, yaitu head yang diperlukan untuk mengalirkan zat cair melalui sistem pipa, adalah sama dengan head untuk mengatasi kerugian gesek ditambah head statis sistem. Head statis ini adalah head potensial dari beda ketinggian permukaan dan beda tekanan statis pada kedua permukaan zat cair di tadah isap dan di tadah keluar. Jika kurva ini digambarkan dalam diagram head terhadap laju aliran akan berbentuk seperti diperlihatkan dalam Gb. 5.1.

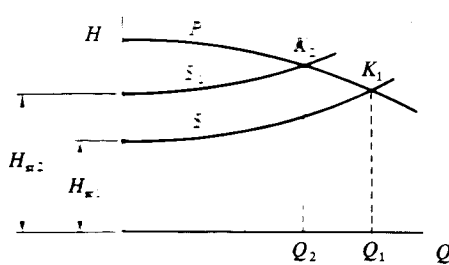
Titik perpotongan antara kurva head-kapasitas dari pompa dan dari sistem merupakan titik kerja pompa dan sistem. Pada titik ini head yang diperlukan oleh sistem sama dengan head yang dapat diberikan oleh pompa pada laju aliran yang sama.

Kurva head-laju aliran dari sistem dapat berubah misalnya karena head statis atau tahanan sistem pipa berubah. Jika hal demikian terjadi maka titik kerja pompa-sistem juga akan berubah. Gb. 5.2 memberikan contoh di mana kurva  $H-Q$  sistem berubah dari  $S_1$  menjadi  $S_2$  karena head statisnya naik dari  $H_{st1}$  menjadi  $H_{st2}$ . Di sini titik kerja berubah dari  $K_1$  ke  $K_2$  dan laju aliran berubah dari  $Q_1$  menjadi  $Q_2$ . Gb. 5.3 memberikan contoh perubahan kurva sistem dari  $S_1$  menjadi  $S_2$  karena kenaikan tahanan sistem pipa. Kenaikan tahanan semacam ini dapat terjadi misalnya karena katup pengatur aliran diperkecil pembukaannya. Di sini titik kerja akan berubah dari  $K_1$  ke  $K_2$  dan laju aliran mengecil dari  $Q_1$  menjadi  $Q_2$ .

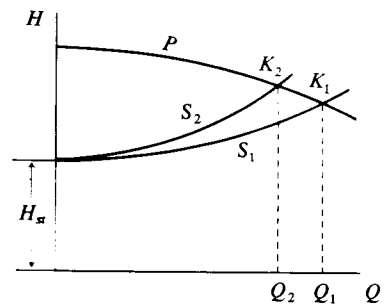


Gb. 5.1 Kurva head-kapasitas dari pompa ( $P$ ) dan sistem ( $S$ ).





Gb. 5.2 Variasi head statis.



Gb. 5.3 Variasi head tahanan.

Bila operasi pompa berubah seperti diberikan dalam contoh di atas maka perlu diingat beberapa hal berikut ini.

#### 1. Operasi pompa kapasitas tak penuh

Bila pompa dioperasikan dengan kapasitas kurang dari harga normalnya, maka beberapa masalah berikut ini dapat timbul. Pada kapasitas aliran sangat kecil (mendekati nol) pompa dapat menjadi panas. Pada kapasitas rendah, gaya radial pada impeler akan bertambah besar. Pada pompa dengan  $n_s$  besar seperti pompa aliran aksial, akan terjadi kavitasi jika poros. Pada operasi di dekat kurva karakteristik yang menurun pada pompa akan dapat timbul bunyi dan getaran.

Pada umumnya kerugian yang terjadi dalam pompa adalah dalam bentuk panas yang akan dibawa keluar oleh zat cair. Namun pada operasi dalam keadaan katup keluar tertutup atau terbuka sangat kecil maka kerugian akan meningkat sedangkan panas yang dibawa keluar sangat sedikit. Maka temperatur pompa akan naik dengan cepat. Kenaikan temperatur ini dapat dihitung dengan rumus berikut pada radiasi dari permukaan dalam pompa diabaikan.

$$\Delta T = \frac{(1 - \eta)H}{427\eta} \quad (5.1)$$

Di mana: kenaikan temperatur ( $^{\circ}\text{C}$ )

$H$  = head total pompa pada titik operasi (m)

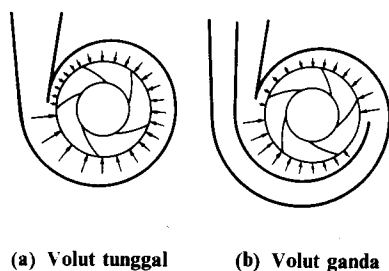
$\eta$  = efisiensi pompa pada titik operasi

Bila pompa dengan head tinggi dioperasikan pada kapasitas dekat keadaan katup tertutup maka temperatur akan naik dan akan menimbulkan kesulitan seperti kavitasi, penguapan zat cair yang bocor ke sisi isap impeler melalui celah perapat, penguapan zat cair dengan temperatur tinggi di dalam cakram pengimbang atau torak pengimbang. Kesulitan-kesulitan ini khususnya akan sangat mempengaruhi pompa-pompa yang bekerja dengan zat cair panas. Untuk mengatasinya, sebagian zat cair terpaksa harus dibocorkan keluar bila laju aliran menjadi sangat kecil, untuk mencegah naiknya temperatur melebihi batas maksimumnya. Pada umumnya batas kenaikan temperatur yang diizinkan adalah  $10^{\circ}\text{C}$  di atas harga normalnya. Namun dalam hal pompa air pengisi ketel yang bekerja pada temperatur sangat tinggi, batas kenaikan temperatur yang diizinkan harus ditentukan atas dasar kondisi di mana tidak akan terjadi penguapan di dalam ruang pengimbang.

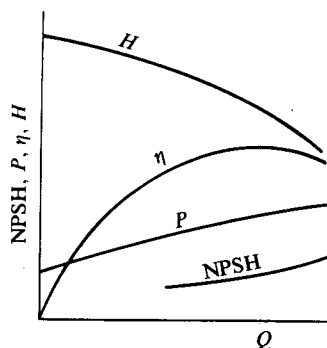
Pada pompa dengan rumah volut, jika dioperasikan dengan kapasitas di bawah normal seperti diperlihatkan dalam Gb. 5.4(a) maka tekanan di dalam volut akan bervariasi di sekeliling impeler. Hal ini akan menimbulkan gaya radial yang tak seimbang

pada impeler. Gaya radial ini demikian besar hingga setelah sebuah pompa terus bekerja cukup lama dengan kapasitas tak penuh, porosnya dapat patah. Jadi ~~dua mungkin~~ pemakaian pompa pada kapasitas tak penuh sejauh mungkin dihindari.

Namun, jika dalam pemakaian tertentu operasi pompa dengan beban tak penuh harus dilakukan dalam jangka waktu cukup lama, harus diambil langkah-langkah tertentu. Salah satu tindakan yang dapat ditempuh adalah meminta terlebih dahulu nasehat dari pabrik pembuat pompa yang bersangkutan serta memakai pompa dengan konstruksi khusus. Suatu contoh pompa dengan konstruksi khusus diperlihatkan dalam Gb. 5.4(b) di mana gaya radial di dalam sebuah rumah volut ganda dapat menjadi kurang lebih seimbang walaupun dalam keadaan bekerja pada kapasitas sebagian.



Gb. 5.4 Distribusi tekanan di keliling impeler pada kapasitas di bawah normal.



Gb. 5.5 Kurva-kurva karakteristik dari sebuah pompa berputaran spesifik rendah.

## (2) Operasi pada kapasitas melebihi normal

Beberapa masalah akan timbul selama operasi sebuah pompa apa bila kapasitasnya melebihi harga pada titik efisiensi optimumnya. Masalah ini berupa kenaikan daya poros pada pompa sentrifugal berkecepatan spesifik rendah, serta terjadinya kavitasi.

Jika pompa sentrifugal dengan  $\eta$  rendah (Gb. 5.5) dioperasikan pada kapasitas di atas harga normalnya, maka daya poros akan naik melebihi daya normalnya. Untuk mengatasi hal ini harus dipilih motor penggerak dengan daya yang cukup besar sesuai dengan pola operasi pompa yang berlaku agar motor tidak mengalami pembebanan lebih. Jika cara ini tidak mungkin dilakukan maka laju aliran dalam pipa harus dibatasi dengan memasang katup pengatur atau cara lain.

Seperti juga telah disinggung dalam pasal 2.5.2, NPSH yang diperlukan akan naik pada laju aliran yang melebihi harga normalnya. Jadi perlu disediakan NPSH pada laju aliran maksimum yang lebih besar dari pada NPSH yang diperlukan. Jika hal ini tidak mungkin, maka laju aliran harus dibatasi dengan katup pengatur aliran agar tidak terjadi kavitasi.

## 5.2 Operasi Paralel Dan Operasi Seri

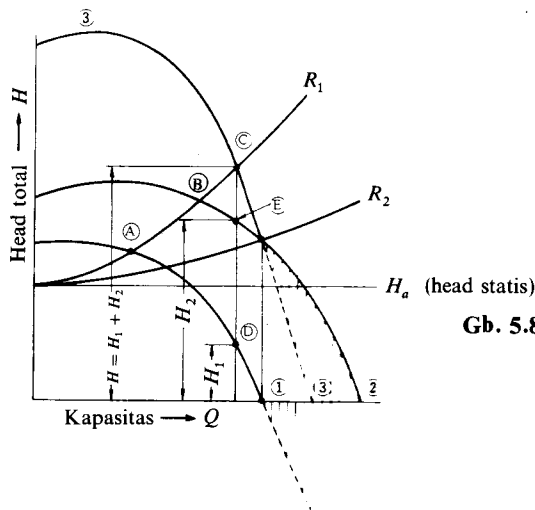
Jika head atau kapasitas yang diperlukan tidak dapat dicapai dengan satu pompa saja, maka dapat digunakan dua pompa atau lebih yang disusun secara paralel atau seri.

Gb. 5.6 menunjukkan kurva head-kapasitas dari pompa-pompa yang mempunyai karakteristik yang sama yang dipasang secara paralel atau seri. Dalam gambar ini kurva untuk satu pompa tunggal diberi tanda ① dan untuk susunan seri yang terdiri dari dua buah pompa diberi tanda ②. Harga head kurva ② diperoleh dari harga head kurva ①



dan pompa ② mempunyai kapasitas besar. Jika keduanya dipasang secara paralel maka akan menghasilkan kurva karakteristik ③. Di sini untuk kurva head-kapasitas sistem  $R_1$  akan dicapai titik operasi paralel di ③ dengan laju aliran total sebesar  $Q$ . Dalam keadaan ini pompa ① beroperasi di titik ① dengan kapasitas  $Q_1$  dan pompa ② beroperasi di titik ② dengan kapasitas aliran  $Q_2$ . Laju aliran total  $Q = Q_1 + Q_2$ .

Apabila kurva head-kapasitas sistem naik lebih tinggi dari pada  $R_2$ , maka pompa ① tidak dapat lagi menghasilkan aliran karena head yang dimiliki tidak cukup tinggi untuk melawan head sistem. Bahkan jika head sistem lebih tinggi dari pada head pompa, aliran akan mengalir masuk ke dalam pompa ①. Untuk mencegah aliran balik ini pompa perlu diperlengkapi dengan katup segit segit yang ada pada pipa keluarnya. Kondisi operasi seperti ini pada umumnya tidak dikehendaki. Jadi untuk operasi paralel sebaiknya dipakai pompa-pompa dengan head teoritis  $H_a$  yang sama yang head terlalu berbeda.



Gb. 5.8 Operasi seri dari pompa-pompa dengan karakteristik berbeda.

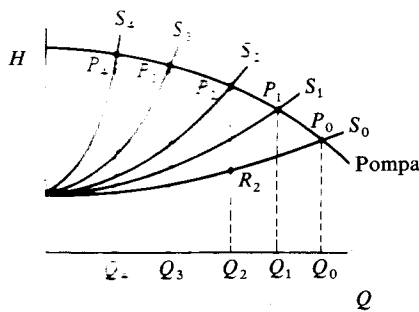
Gb. 5.8 memperlihatkan karakteristik susunan seri dari dua buah pompa yang mempunyai karakteristik berbeda. Kurva ① adalah dari pompa kapasitas kecil, kurva ② dari pompa kapasitas besar, dan kurva ③ merupakan karakteristik operasi kedua pompa dalam susunan seri.

Jika sistem pipa mempunyai kurva karakteristik  $R_1$  maka titik operasi dengan pompa susunan seri akan terletak di ③. Dalam keadaan ini pompa ① bekerja di titik ① dan pompa ② di titik ②. Untuk sistem yang mempunyai kurva karakteristik  $R_2$ , kerja seri antara pompa ① dan pompa ② tidak dikehendaki. Di sini head pompa ① menjadi negatif sehingga akan menurunkan head pompa ②. Jadi untuk kurva sistem yang lebih rendah dari  $R_2$  lebih baik dipakai pompa ② saja.

## 5.3 Pengaturan Kapasitas

### 5.3.1 Cara pengaturan

Laju aliran yang dibutuhkan dalam suatu instalasi pompa tidak selalu tetap. Karena itu kapasitas aliran harus dapat diatur sesuai kebutuhan. Di bawah ini akan diuraikan berbagai cara yang dapat ditempuh.



Gb. 5.9 Pengaturan katup.

## (1) Pengatur katup

Cara pengaturan ini menggunakan katup pengatur yang dipasang di pipa keluar pompa. Aliran diatur dengan jalan menghambat aliran dengan merubah-rubah pembukaan katup ini.

Gb. 5.9 memperlihatkan kurva head-kapasitas dari pompa dan sistem serta titik-titik kerjanya. Jika katup dibuka penuh maka sistem mempunyai kurva karakteristik  $S_0$ . Apabila pembukaan katup semakin diperkecil maka kurva sistem akan berubah dari  $S_0$  menjadi  $S_1, S_2, S_3, S_4, \dots$ . Titik operasi pompa juga akan berubah dari  $P_0$  menjadi  $P_1, P_2, P_3, \dots$ . Dengan demikian kapasitas akan berkurang dari  $Q_0$  menjadi  $Q_1, Q_2, Q_3, \dots$ .

Pengaturan katup merupakan cara yang paling sederhana karena hanya menggunakan peralatan berupa katup. Namun pada pengaturan ini terjadi kerugian daya yang besar karena tahanan katup. Misalnya jika laju aliran yang dibutuhkan adalah  $Q_2$  maka katup harus dinaikkan hingga titik kerja pompa berubah dari  $P_0$  menjadi  $P_2$ . Maka di sini terjadi kerugian head sebesar  $P_2 R_2$ . Dari Gb. 5.9 dapat dimengerti bahwa jika tahanan katup semakin diperbesar (untuk mendapatkan  $Q$  yang semakin kecil) maka kerugian head juga akan semakin besar. Inilah kerugian dari sistem pengaturan katup.

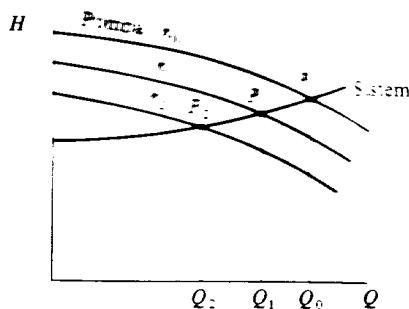
## (2) Pengaturan putaran

Jika kecepatan putar pompa berubah, karakteristik pompa berubah menurut hukum kesebangunan sebagaimana diuraikan dalam pasal 1.2. Jika  $D_1 = D_2$  maka dari Pers. 1.3 dan 1.4 dapat diperoleh hubungan berikut ini:

$$Q \propto n$$

$$H \propto n^2$$

$$P \propto n^3$$



Gb. 5.10 Pengaturan putaran.

Adapun perubahan kurva karakteristik  $H-Q$  pompa untuk perubahan putaran dari  $n_0$  menjadi  $n_1, n_2, \dots$ , diperlihatkan dalam Gb. 5.10. Jika putaran pompa dinaikkan, maka titik perpotongan antara kurva  $H-Q$  dari sistem dan dari pompa akan bergeser ke arah kapasitas yang kecil. Jadi dengan mengatur putaran pompa, laju aliran dapat diatur pula.

Pengaturan putaran biasanya memberikan kerugian yang lebih kecil dan efisiensi yang lebih tinggi dari pada pengaturan katup. Terutama jika head statis sistem jauh lebih rendah dibandingkan dengan head pompa pada putaran normal  $n_0$ , maka keuntungannya akan semakin nyata dibandingkan dengan pengaturan katup.

Untuk mengatur putaran pompa, terdapat beberapa cara, yaitu dengan mengubah putaran motor penggeraknya, atau mengubah perbandingan putaran pada alat transmisi daya porosnya.

Motor dengan putaran variabel yang dapat dipakai untuk pengaturan putaran diperlihatkan dalam Tabel 5.1.

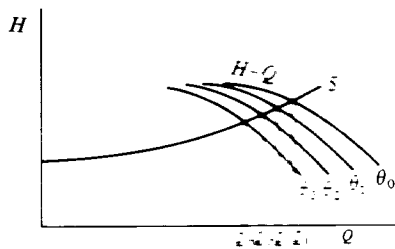
**Tabel 5.1 Cara-cara pengaturan putaran pada motor listrik.**

Jenis motor		Cara pengaturan putaran
Motor arus searah		Pengatur Ward-Leonard thyristor Pengatur Ward-Leonard transistor Pengatur medan
Motor induksi	Motor induksi jenis sangkar bajing	Mengubah kutub Pengaturan tegangan primer Pengaturan frekuensi primer dengan inverter Dengan converter getaran
	Motor induksi jenis rotor	Pengaturan tegangan primer Pengaturan tegangan sekunder Pengaturan medan sekunder Pengaturan Scherbius statis Pengaturan Scherbius supersinkron
	Motor kopling arus pusar	
Motor sinkron	Motor thyristor	Pengaturan frekuensi primer
	Motor magnet permanen	Pengaturan frekuensi primer
Motor komutator arus bolak-balik	Motor shunt tiga fasa	

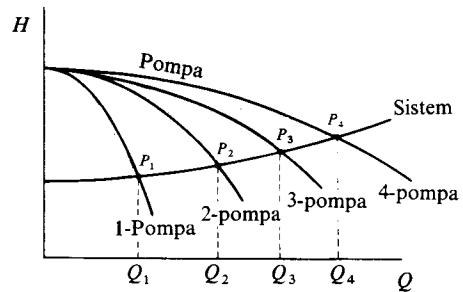
### (3) Pengaturan sudu

Pompa aksial atau pompa aliran campur dapat dibuat dengan sudu impeller yang dapat diubah sudutnya. Pada pompa semacam ini, pengaturan kapasitas dapat dilakukan dengan mengubah-ubah sudut sudu ini. Dalam Gb. 5.11 diperlihatkan contoh karakteristik pompa aliran campur yang dapat diubah sudut sudunya. Di sini, untuk masing-masing sudut  $\theta_0, \theta_1, \dots$  terdapat kurva-kurva yang berbeda. Dengan demikian jika sudut sudu diubah dari  $\theta_0$  menjadi  $\theta_1, \theta_2, \dots$ , titik potong kurva karakteristik pompa dan sistem akan bergeser ke arah kapasitas yang kecil.

Pada umumnya pengaturan kapasitas dengan mengubah sudut sudu sangat efektif dan efisien terutama jika terdapat perbedaan besar antara head statis sistem dan head



Gb. 5.11 Pengaturan dengan sudut sudu yang dapat diubah.



Gb. 5.12 Pengaturan jumlah pompa yang bekerja.

pompa. Namun mekanisme pengubah sudu adalah terlalu sukar untuk diterapkan pada pompa-pompa kecil. Karena itu sistem pengaturan ini hanya dianjurkan untuk pompa-pompa besar saja.

#### (4) Pengaturan jumlah pompa yang bekerja

Pada cara pengaturan ini, dipergunakan beberapa buah pompa untuk melayani kebutuhan laju aliran yang berubah-ubah. Jika terjadi perubahan kebutuhan, maka jumlah pompa yang bekerja dapat diubah dengan menyalakan atau mematikan satu atau beberapa pompa. (Lihat Gb. 5.12). Di sini diperlihatkan karakteristik 4 buah pompa yang dapat dioperasikan secara paralel.

Pengaturan kapasitas dengan cara ini akan memberikan perubahan laju aliran yang bertangga. Untuk memperoleh perubahan yang kontinyu harus digabungkan dengan sistem lain, misalnya dengan menambahkan katup pengatur atau sebuah pompa yang dapat diatur putarannya.

#### 5. Pengaturan dengan reservoir

Seperti diuraikan dalam pasal 3.2.1 butir (2) dan (3), sebuah tangki atas atau tangki bawah dapat digunakan untuk mengatur laju aliran yang diperlukan. Dalam hal ini pompa beroperasi secara otomatis berdasarkan tinggi permukaan air atau tekanan di dalam tangki.

Metode cara ini pengaliran operasi pompa diatur melalui tangki sesuai dengan laju aliran yang diperlukan. Cara ini sesuai untuk instalasi air berukuran kecil.

### 5.3.2 Modifikasi Pompa

Karakteristik sebuah pompa dapat diubah dengan jalan mengadakan sedikit modifikasi. Hal ini kadang-kadang diperlukan misalnya pada alat-alat yang dibutuhkan akan mempunyai laju aliran yang berbeda.

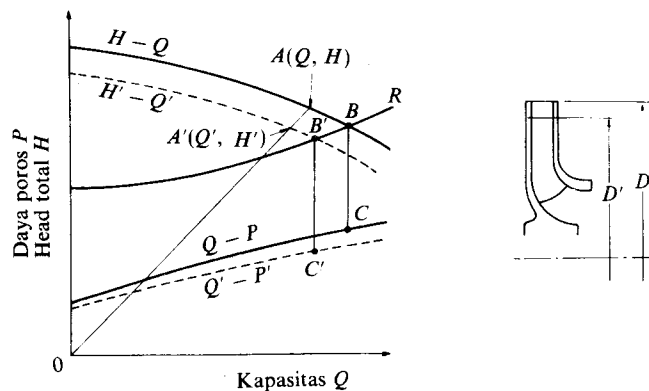
Di bawah ini akan diuraikan cara-cara yang dapat dilakukan.

#### (1) Pemotongan impeler

Kapasitas dan head suatu pompa dapat dikurangi dengan memperkecil diameter luar impeler dengan memotongnya. Hal ini berarti bahwa impeler tidak berubah setelah pemotongan maka perubahan kapasitas dan head dapat diberikan sbb:

$$\frac{Q'}{Q} = \frac{H'}{H} = \left( \frac{D'}{D} \right)^2 = \frac{OA'}{OA} \quad (5.2)$$

di mana  $Q$ ,  $H$ , dan  $D$  berturut-turut adalah kapasitas, head total, dan diameter impeler



Gb. 5.13 Pemotongan impeler.

sebelum pemotongan, sedangkan  $Q'$ ,  $H'$  dan  $D'$  adalah harga-harga setelah pemotongan.  $OA$  dan  $OA'$  berturut-turut adalah jarak  $O$  ke titik  $A$  di kurva  $H-Q$  dan ke titik  $A'$  di kurva  $H'-Q'$ . (lihat Gb. 5.13).

Jika jumlah pemotongan sangat kecil, maka efisiensi pompa pada titik yang ekuivalen dapat dianggap hampir sama. Dengan demikian daya poros setelah pemotongan dapat ditentukan dengan efisiensi yang sama. Jika kurva head-kapasitas dari sistem adalah  $R$  (dalam Gb. 5.13) maka titik kerja akan berubah dari  $B$  menjadi  $B'$ . Di sini daya poros akan berubah dari titik  $C$  ke  $C'$ .

Pemotongan impeler yang terlalu banyak akan mengakibatkan perubahan yang cukup berarti pada sudut sudu pada sisi keluar impeler. Di sini Pers. 5.2 tidak dapat dipakai lagi untuk menentukan perubahan  $Q$  dan  $H$  secara tepat. Selain itu efisiensi pompa pada umumnya akan sangat menurun.

#### (2) Pengurangan jumlah tingkat

Pada pompa bertingkat banyak, head total dapat diperkecil dengan mengurangi jumlah tingkat yang ada. Pengurangan ini dapat dilakukan dengan mengambil tingkat yang ada di tengah dan menggantinya dengan cincin antara. Tingkat pertama dan tingkat terakhir harus tetap dipergunakan.

## 5.4 Prosedur Menjalankan Dan Menghentikan

Dalam perencanaan instalasi pompa, tidak hanya operasi normal saja yang perlu diperhitungkan, tetapi masalah-masalah yang timbul pada waktu menjalankan (start) dan menghentikan (stop) pompa juga perlu diperhatikan. Beberapa dari permasalahan ini adalah: memancing pompa, urutan pembukaan dan penutupan katup, dan keadaan transien (keadaan sebelum tercapai ke mantapan) yang berhubungan dengan start dan stop, terutama cara pencegahan gejala benturan air (water hammer).

## 5.5 Benturan Air (Water Hammer)

### 5.5.1 Gejala Benturan Air

Gejala ini terjadi bila suatu aliran zat cair di dalam pipa dengan tiba-tiba dihentikan misalnya dengan menutup katup secara sangat cepat. Di sini seolah-olah zat cair mem-



bentur katup sehingga timbul tekanan yang melonjak dan diikuti fluktuasi tekanan di sepanjang pipa untuk beberapa saat.

Pada pipa yang dihubungkan dengan pompa gejala benturan air ini juga dapat terjadi. Misalnya, bila sebuah pompa yang sedang bekerja tiba-tiba mati (karena dimatikan atau karena listrik padam), maka aliran air akan terhalang impeler sehingga mengalami perlambatan yang mendadak. Di sini terjadi lonjakan tekanan pada pompa dan pipa, seperti peristiwa penutupan katup secara tiba-tiba. Lonjakan tekanan juga dapat terjadi jika pompa dijalankan dengan tiba-tiba atau katup dibuka secara cepat.

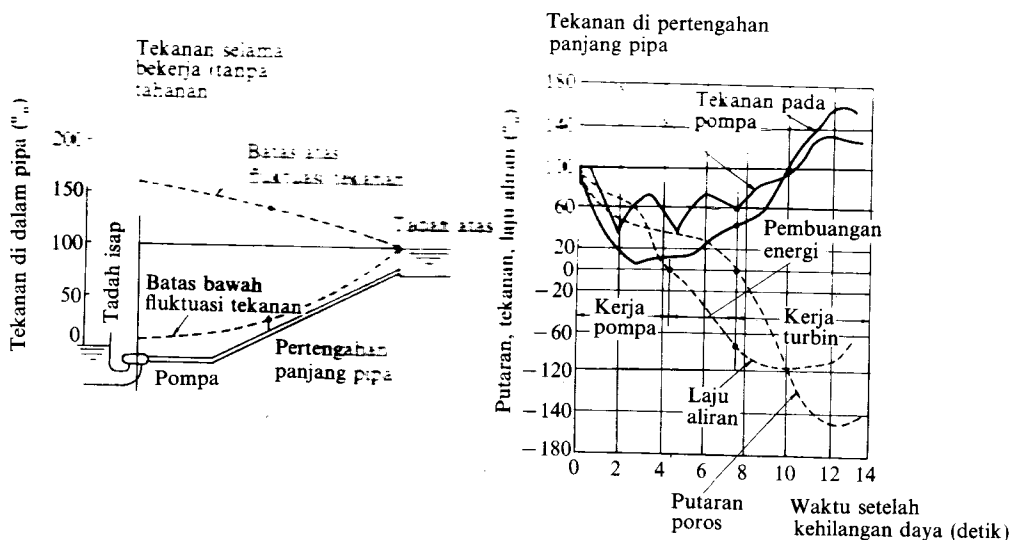
Besarnya lonjakan atau jatuhnya tekanan karena benturan air, tergantung pada laju perubahan kecepatan aliran. Dalam hal katup, tergantung pada kecepatan penutupan atau pembukaan katup, dan dalam hal pompa, tergantung pada cara menjalankan dan menghentikan pompa. Selain itu, panjang pipa, kecepatan aliran, dan karakteristik pompa, merupakan faktor-faktor yang sangat menentukan besarnya lonjakan atau jatuhnya tekanan karena benturan air. Jadi, pencegahannya dapat dilakukan dengan beberapa cara.

Masalah yang paling rawan pada gejala benturan air di dalam pipa yang dihubungkan dengan pompa adalah pada saat listrik padam dengan tiba-tiba. Dalam hal demikian, ada beberapa kemungkinan yang dapat terjadi seperti diuraikan di bawah ini.

(1) Pompa dipasang tanpa katup di sisi keluar (lihat Gb. 5.14)

Pada tahap pertama, pada saat listrik padam, impeler masih berputar karena kelembaman (inersia) bagian yang berputar. Tetapi putaran ini akan segera berkurang karena energi kinetiknya terserap untuk mengalirkan zat cair. Maka head dan kapasitas pompa akan jatuh dengan tiba-tiba. Di sini head pompa tidak dapat mengatasi head sistem sehingga aliran akan berhenti meskipun impeler masih berputar dalam arah yang sama. Sementara itu terjadi gelombang tekanan negatif di dalam pipa yang merambat dari pompa ke arah tadah keluar.

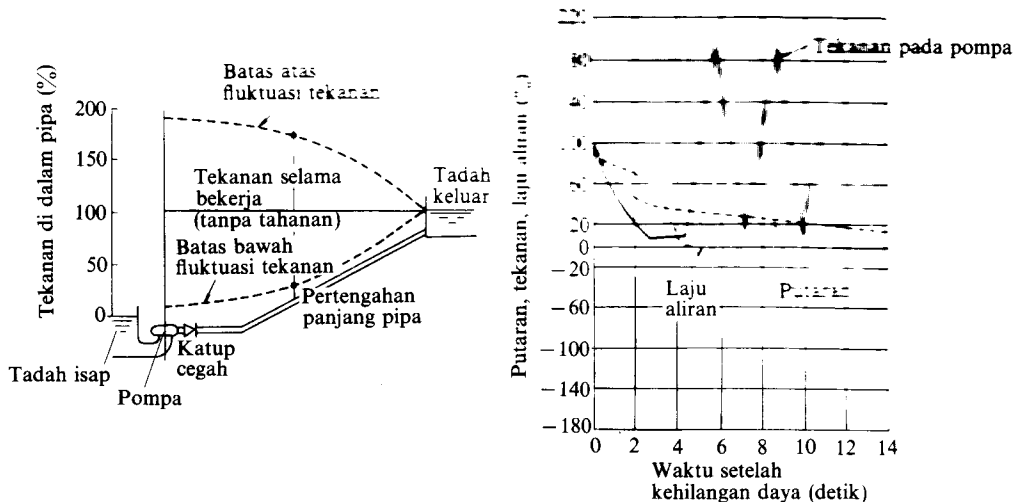
Pada tahap kedua, aliran di dalam pipa keluar yang telah berhenti akan mulai bergerak dalam arah yang berlawanan sehingga impeler akan bekerja melawan aliran balik ini. Maka terjadilah kenaikan tekanan pada sisi keluar pompa. Sementara itu,



Gb. 5.14 Gejala transien setelah kehilangan daya (tanpa katup cegah).

gelombang tekanan negatip yang merambat dari pompa pada tahap pertama tadi, setelah dipantulkan oleh tadah keluar, merambat kembali ke pompa sebagai gelombang tekanan positif, sehingga akan menambah tinggi tekanan di sisi keluar pompa secara berangsur-angsur. Aliran balik ini akan menghentikan putaran impeler sama sekali.

Pada tahap ketiga, impeler pompa mulai berputar **balik** sehingga pompa bekerja sebagai turbin. Zat cair yang mengalir balik akan semakin dipercepat sehingga pompa menjadi seperti turbin yang bekerja tanpa beban. Akibatnya putaran balik ini akan segera meningkat sampai mencapai putaran lari (*run-away speed*) yang tetap.



Gb. 5.15 Gejala transien setelah kehilangan daya (dengan katup cegah pada sisi keluar pompa).

(2) Pompa dilengkapi dengan katup cegah di sisi keluar (lihat Gb. 5.15)

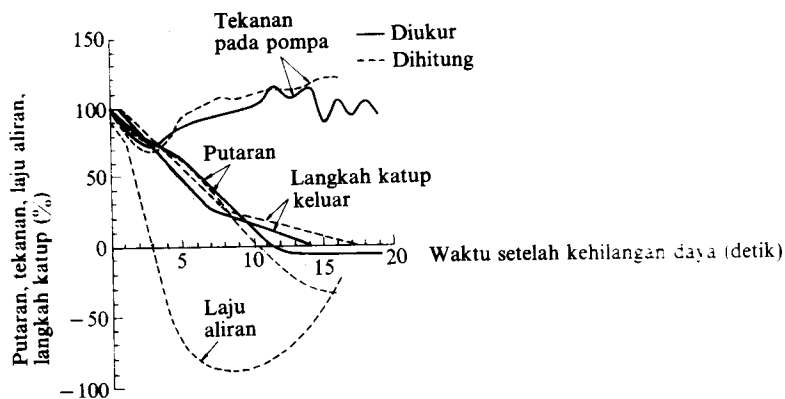
Jika sebuah katup cegah (atau katup isap) dipasang pada pipa, maka aliran balik praktis dapat dicegah, karena katup ini akan menutup sendiri bila aliran mulai membalik pada tahap kedua. Meskipun pompa masih berputar pada saat aliran berhenti, namun energi kinetiknya akan berangsur-angsur habis dan impeler akan berhenti.

Segera setelah katup cegah menutup, tekanan di dalam pipa segera melonjak karena aliran balik yang tertahan katup. Selanjutnya akan terjadi fluktuasi tekanan yang semakin mengecil dan berhenti.

(3) Pompa dilengkapi katup yang dapat diatur

Gejala transien yang terjadi pada waktu penutupan katup dapat dikendalikan jika dipakai katup yang dapat diatur penutupannya. Untuk ini dapat dipergunakan katup sorong atau katup cegah dengan mekanisme khusus. Pengendalian ini bertujuan untuk menghentikan aliran secepat mungkin dengan perubahan tekanan yang sekecil mungkin dan aliran balik yang minimal. Katup pengatur harus bekerja sedemikian rupa sehingga aliran balik dapat dihentikan secara perlahan-lahan pada tahap kedua tanpa dapat membesar.

Berbagai cara pengaturan dapat dipergunakan, seperti contoh dalam Gb. 5.16. Dalam contoh ini diberikan sistem dengan pipa yang relatif pendek dan mempunyai karakteristik yang agak landai. Katup utama menutup dalam dua tahap. Tahap pertama berlangsung cepat, dan tahap kedua berlangsung lambat dengan katup jarum yang



Gb. 5.16 Gejala transien setelah kehilangan daya (dengan katup keluar yang diatur).

digerakkan oleh tekanan minyak. Dengan penutupan cara ini, kenaikan tekanan, aliran balik, dan putaran balik menjadi sangat kecil.

### 5.5.2 Kerusakan dan Pencegahan Benturan Air

#### (1) Kerusakan karena benturan air

Benturan air dapat menimbulkan kerusakan sebagai berikut:

- (a) Pompa, katup, atau pipa dapat pecah karena lonjakan tekanan pada waktu terjadi benturan air.
- (b) Pipa dapat kempis (melesak) karena tekanan negatif (tekanan vakum) yang terjadi di dalam pipa di belakang katup atau pompa.
- (c) Jika tekanan negatif pada suatu titik di dalam pipa menjadi lebih rendah dari pada tekanan uap zat cair, maka akan terjadi penguapan di tempat tersebut. Di tempat ini zat cair di dalam pipa akan terpisah oleh uap menjadi dua kolom zat cair. Bagian yang berisi uap ini karena bertekanan rendah akan terisi kembali sehingga dua kolom zat cair yang terpisah akan menyatu kembali secara saling membentur. Maka di tempat benturan ini pipa dapat pecah.
- (d) Jika putaran balik dari pompa tidak dicegah, dapat timbul kerusakan karena putaran lari atau kerusakan lain pada pompa dan penggerak.

#### (2) Pencegahan Benturan Air

Pada waktu terjadi benturan air karena hilangnya daya, tekanan akan jatuh pada tahap pertama dan melonjak naik pada tahap kedua. Lonjakan tekanan akan semakin tinggi jika penurunan tekanan pada tahap pertama juga sangat besar. Jadi tindakan pencegahan dapat dilakukan dengan menghindari terjadinya tekanan negatif dan kemudian mencegah timbulnya kenaikan tekanan. Adapun pencegahannya dapat dilakukan sbb.:

- (a) Untuk menghindari tekanan negatif dan pemisahan kolom zat cair dapat digunakan tiga cara yaitu dengan roda gaya, tangki peredam, dan katup laluan udara. Masing-masing cara ini menggunakan peralatan sebagai berikut:

##### 1) Roda gaya pada pompa

Roda gaya akan memperbesar kelembaman bagian pompa yang berputar, sehingga

jika daya hilang, putaran tidak segera berkurang. Dengan demikian penurunan tekanan pada tahap pertama tidak terjadi terlalu cepat dan terlalu besar.

2) *Tangki peredam*

Tangki peredam (surge tank) adalah sebuah tangki yang dihubungkan dengan pipa keluar pompa. Dalam keadaan operasi normal, tangki terisi zat cair sampai batas tertentu. Jika pada suatu saat di dalam pipa keluar terjadi lonjakan tekanan maka sebagian zat cair dari pipa akan masuk ke dalam tangki. Dengan demikian lonjakan tekanan akan dapat dibatasi atau diredam. Setelah tekanan di dalam pipa menjadi normal lagi, zat cair akan tertekan kembali masuk pipa. Sebaliknya jika di dalam pipa keluar tekanan jatuh dengan tiba-tiba, air dari tangki akan keluar mengisi pipa. Dengan demikian penurunan tekanan di dalam pipa keluar dapat dibatasi.

Dengan adanya tangki peredam ini jika pompa tiba-tiba berhenti, tekanan di dalam pipa keluar **tidak akan** jatuh terlalu rendah. Dalam hal ini, gelombang tekanan yang timbul pada sisi keluar pompa akan dipantulkan kembali oleh permukaan bebas zat cair di dalam tangki. Dengan demikian benturan air dalam sistem ini hanya terjadi pada jarak pendek antara pompa dan tangki peredam.

Tinggi minimum permukaan zat cair di dalam tangki peredam tidak boleh kurang dari tinggi garis gradien hidrolik pipa dalam keadaan operasi normal pompa. Tangki harus dibuat lebih tinggi dari permukaan ini untuk dapat menampung kenaikan permukaan pada saat terjadi lonjakan tekanan di dalam pipa keluar.

3) *Katup laluan udara (air vent valve)*

Katup ini dipasang di tempat di mana terjadi tekanan negatif sehingga udara dari atmosfer dapat terisap masuk pipa. Penggunaan katup ini tidak akan menimbulkan masalah jika udara yang terisap dapat dikeluarkan kembali oleh aliran zat cair di sebelah hilir katup. Namun pada umumnya pengeluaran udara ini tidak mudah.

4) *Kamar udara (air chamber)*

Kamar udara ini berbentuk bejana tertutup yang dipasang pada nosel keluar pompa. Zat cair mengisi kamar ini sampai batas tertentu sedang di atas permukaan zat cair terdapat udara bertekanan. Fungsinya mirip tangki peredam. Namun, untuk sistem pemompaan air, cara ini memerlukan kamar udara yang berkapasitas besar sehingga menjadi mahal. Selain itu juga ada masalah pengeluaran udara jika udara harus dibuang.

5) *Mengurangi kecepatan di dalam pipa*

Jika kecepatan aliran di dalam pipa diperkecil maka gaya inersia yang timbul dari benturan kolom air akan berkurang. Untuk memperkecil kecepatan aliran, diameter pipa dapat dibesarkan.

6) *Mengubah bentuk pipa*

Pada umumnya pipa keluar yang dipasang tegak dekat pompa dan kemudian membelok ke arah mendatar cenderung menimbulkan pemisahan kolom zat cair. Karena itu bentuk seperti ini harus diubah.

(b) Pencegahan lonjakan tekanan

Lonjakan tekanan karena gejala benturan air dapat dicegah dengan berbagai cara sebagai berikut:

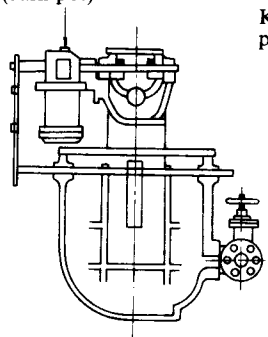
1) *Penutupan lambat*

Cara ini menggunakan katup yang penutupannya terkendali, di mana kecepatan penutupan terbagi atas dua atau tiga tahap. Pada tahap pertama katup menutup dengan cepat untuk sebagian besar langkahnya untuk memperkecil aliran balik dan putaran balik dari impeler pompa. Pada tahap kedua penutupan berjalan lambat untuk menghindari lonjakan tekanan. Bila cara ini dipakai, tidak boleh dipergunakan katup cegah atau katup isap yang dipasang secara seri.

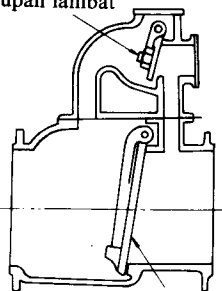
Adapun jenis katup yang dipergunakan di sini adalah katup jarum, katup putar, dan katup kupu-kupu yang digerakkan dengan tekanan hidrolik karena penutupannya harus dilakukan secara paksa namun terkendali.

Juga dapat dipakai katup cegah yang menutup lambat. Katup ini tidak memerlukan peralatan hidrolik karena penutupan dan pembukaannya dilakukan oleh aliran zat cair di pipa ke luar. Biasanya kenaikan tekanan dapat dikendalikan sampai kurang dari 30% di atas tekanan normal. (Lihat Gb. 5.17).

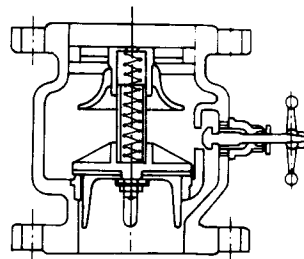
Tabung redam  
(dash pot)



Katup pintas  
penutupan lambat



Katup utama



**Gb. 5.18 Katup cegah penutupan cepat yang dibebani dengan pegas.**

**Gb. 5.17 Katup cegah penutupan lambat.**

## 2) Pelepasan tekanan

Di sini dipergunakan katup pelepas tekanan (relief valve) untuk melepaskan kenaikan tekanan yang terjadi di dalam pipa. Namun perlu diketahui bahwa katup ini kadang-kadang tidak berfungsi secara sempurna karena kelambatan pembukaannya.

## 3) Penutupan cepat

Biasanya katup cegah mengalami kelambatan dalam penutupan pada waktu terjadi aliran balik. Hal ini akan mengakibatkan lonjakan tekanan bila katup tiba-tiba menutup setelah kecepatan aliran balik menjadi cukup besar. Untuk menghindari hal ini, beberapa katup mempunyai pegas atau pemberat. Dengan demikian katup akan tertutup dengan pegas sesaat sebelum terjadi aliran balik. Katup semacam ini disebut katup cegah penutupan cepat. Konstruksi yang menggunakan pegas dipakai untuk diameter pipa 400 mm atau kurang, dan yang menggunakan pemberat untuk diameter pipa 500 mm atau lebih.

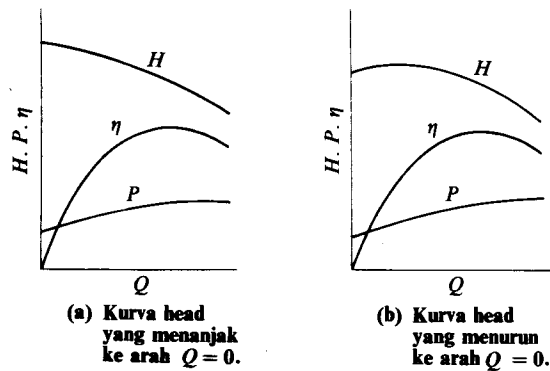
Katup semacam ini hanya menghindari kenaikan tekanan karena kelambatan penutupan dan tidak dapat mencegah benturan air yang sesungguhnya di dalam pipa. Namun katup ini sangat bermanfaat di dalam sistem pompa seperti pompa penyediaan air di dalam gedung di mana pemipaan tidak terlalu panjang dan head statis sistem cukup tinggi. Kelemahannya hanyalah pada kelambatan penutupannya. Gb. 5.18 memberikan contoh konstruksi katup semacam ini.

## 5.6 Surjing

### 5.6.1 Gejala surjing

Beberapa pompa sentrifugal mempunyai lengkungan head  $H$  yang menaik, dan beberapa lagi mempunyai lengkungan yang menurun, jika kapasitas  $Q$  mengecil mendekati nol. Gb. 5.19 (a) dan (b) memperlihatkan kedua kurva tersebut.

Pompa yang mempunyai kurva  $H$  yang menaik selau bekerja dengan stabil.



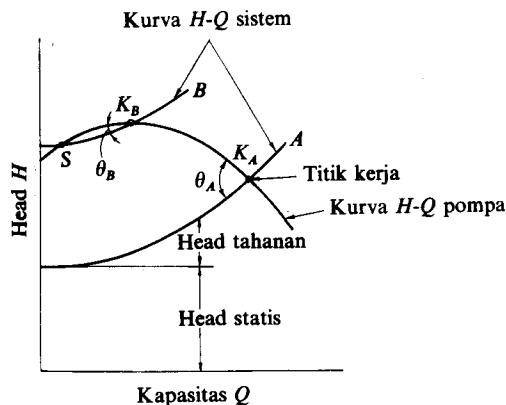
Gb. 5.19 Kurva karakteristik khas pompa sentrifugal.

Namun pompa dengan kurva  $H$  yang menurun dalam keadaan tertentu dapat mengalami gejala seperti orang bernafas. Di sini laju aliran berubah-ubah terus secara periodik dan penunjukan manometer di nosel keluar serta vakummeter di sisi isap pompa memperlihatkan adanya fluktuasi tekanan. Gejala seperti ini disebut surjing.

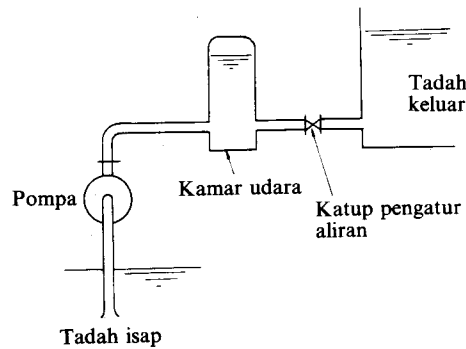
### 5.6.2 Pencegahan surjing

Terjadinya surjing dipengaruhi oleh bentuk kurva  $H-Q$  dari sistem pipa. Dalam Gb. 5.20 diperlihatkan dua macam kurva sistem, yaitu sistem  $A$  dan sistem  $B$ . Kurva sistem  $A$  memotong kurva pompa di  $K_A$  dengan sudut  $\theta_A$  yang besar sehingga diperoleh kondisi kerja yang stabil tanpa surjing. Sebaliknya kurva sistem  $B$  memotong kurva pompa di  $K_B$  dengan sudut  $\theta_B$  yang kecil. Hal ini menyebabkan operasi yang tak stabil. Laju aliran akan berfluktuasi di sekitar titik kerja ini yang berarti mengalami surjing. Jika dalam fluktuasi ini aliran mengecil sampai di sebelah kiri titik  $S$ , maka pompa tidak akan dapat mengembalikan laju aliran lagi ke titik  $K_B$  karena head sistem menjadi lebih tinggi dari pada head pompa.

Sistem  $B$  yang mempunyai head statis lebih tinggi dari pada head tertutup (shut-off head) dari pompa juga mempunyai kesulitan pada waktu mengawali aliran. Untuk mengatasi hal ini harus dipakai pompa dengan head tertutup yang lebih tinggi.



Gb. 5.20 Kurva head sistem dan kurva head-kapasitas ( $H-Q$ ) pompa.



Gb. 5.21 Sistem pompa dengan kamar udara pada pipa penyalur.

Dalam sistem pemipaan yang sesungguhnya, surjing akan terjadi pada kondisi dan situasi berikut:

- 1) Pompa mempunyai kurva  $H-Q$  yang naik sampai suatu harga puncak, dan jika aliran dibesarkan terus kurva  $H-Q$  akan turun kembali (seperti pada Gb. 5.20).
- 2) Pada jalur pipa ada tangki zat cair atau ada fasa gas di dalam aliran.
- 3) Katup pengatur aliran dipasang di sebelah hilir tangki zat cair atau fasa gas yang disebut di atas (Lihat Gb. 5.21).

## 5.7 Fluktuasi Tekanan

### 5.7.1 Gejala Fluktuasi Tekanan

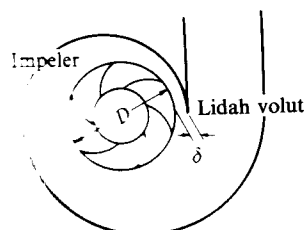
Gejala fluktuasi tekanan yang berasal dari pompa dapat diterangkan sebagai berikut. (Lihat Gb. 5.22). Setiap kali sisi keluar sudu impeler lewat dekat lidah volut pada waktu berputar, tekanan zat cair akan berdenyut. Denyut yang terus menerus akan dirasakan sebagai fluktuasi tekanan yang merambat pada zat cair di dalam pipa keluar. Frekuensi dasar  $f$  (Hz) dari denyut tekanan ini dapat dihitung dengan rumus

$$f = \frac{z \cdot n}{60} \quad (5.3)$$

di mana  $z$  : Jumlah sudu impeler

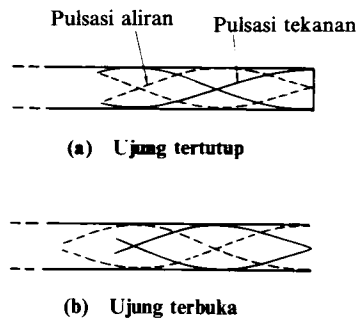
$n$  : Putaran (rpm)

Pada umumnya denyut tekanan yang disebabkan oleh interferensi antara impeler dan ~~rumah~~ seperti dikemukakan di atas akan menjadi lebih kecil jika jarak  $\delta$  antara sisi luar ~~sudu~~ impeler dengan lidah volut bertambah besar.



Gb. 5.22 Lidah volut dan impeler.

Selama denyut tekanan yang timbul di dalam pompa hanya dirambatkan melalui zat cair saja, tidak akan menjadi masalah. Namun jika denyut tersebut kemudian beresonansi dengan kolom air di dalam pipa, maka akan dapat timbul getaran dan bunyi. Di sini denyut yang ditimbulkan di dalam pompa merambat dalam bentuk gelombang tekanan di sepanjang pipa. Gelombang ini akan dipantulkan kembali bila mencapai ujung pipa, sehingga gelombang yang datang dan yang dipantulkan akan berinterferensi membentuk gelombang tegak di dalam pipa.



Gb. 5.23 Kondisi pada ujung pipa.

Gb. 5.23(a) dan (b) berturut-turut menunjukkan ujung pipa yang tertutup dan terbuka. Pada kedua macam ujung ini denyut tekanan dan denyut aliran dipantulkan dengan cara yang berbeda. Antara denyut tekanan dan denyut aliran terdapat perbedaan fasa sebesar  $90^\circ$ . Ujung yang tertutup menjadi titik simpul gelombang aliran dan ujung yang terbuka menjadi titik simpul gelombang tekanan.

Pantulan gelombang tekanan seperti tersebut di atas tidak hanya terjadi pada ujung terbuka dan ujung tertutup saja, tetapi juga terjadi di tempat-tempat lain di mana penampang pipa berubah dengan tiba-tiba.

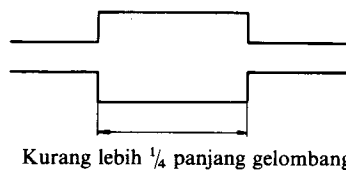
Gelombang tegak seperti diuraikan di atas dapat menyebabkan resonansi, tergantung pada panjang pipa dan dapat menimbulkan getaran dan bunyi.

### 5.7.2 Pencegahan Fluktuasi Tekanan

Getaran dan bunyi yang disebabkan oleh fluktuasi tekanan dapat dihindari dengan cara sebagai berikut:

- (1) Mengurangi perambatan dari pompa ke pipa

Untuk ini dapat digunakan peredam denyut yang dipasang pada pipa keluar pompa. Peredam denyut terdapat dalam berbagai bentuk, namun yang paling sederhana berupa kamar ekspansi. Gb. 5.24. Konstruksi semacam ini cukup efektif untuk pipa dengan diameter kecil.



Gb. 5.24 Peredam bunyi dengan kamar ekspansi.



## 5.8 Operasi Otomatik

Berbagai cara operasi otomatis untuk pompa terdapat dalam praktek. Namun di sini hanya akan dibahas cara yang paling sederhana di mana motor dihidupkan dan dimatikan secara otomatis atas dasar tinggi permukaan dan tekanan zat cair.

Pada pompa yang digunakan dalam instalasi penyediaan air, tinggi permukaan air di tangki atas atau tekanan di dalam tangki tekan dijaga tetap oleh alat pengatur. Pada pompa drainase, pengaturan dilakukan untuk menjaga tinggi permukaan air di sisi isap supaya tetap. Namun semuanya ini didasarkan pada prinsip yang sama seperti diuraikan di bawah ini.

Pengaturan berdasarkan tinggi permukaan zat cair umumnya menggunakan pelampung untuk mendeteksi tinggi permukaan tersebut. Dalam hal pompa penyediaan air, pelampung dipasang pada tangki atas. Jika permukaan air mencapai titik terendah, pelampung akan menutup tombol motor hingga pompa bekerja. Jika permukaan air mencapai titik tertinggi, pelampung akan membuka tombol dan mematikan pompa. Dalam hal pompa drainase kerja pelampung adalah sebaliknya yaitu mematikan pompa jika muka air sudah mencapai titik terendah.

Dalam hal pompa kecil dengan poros mendatar, agar pompa dapat langsung mengalirkan zat cair pada waktu motor hidup, perlu dijaga agar pompa dan pipa isap selalu berisi zat cair. Untuk ini dapat dipakai katup isap (foot valve) pada ujung pipa isap. Katup keluar harus selalu dalam keadaan terbuka. Adapun untuk pompa dengan poros tegak atau pompa dengan motor terendam, di mana impeler selalu berada di bawah permukaan air, cukup dipergunakan katup cegah.

Cara pengaturan seperti di atas cenderung menyebabkan motor menjadi panas melebihi batas jika pompa terlalu sering hidup-mati. Jadi perbedaan titik tertinggi dan titik terendah permukaan air harus ditentukan sedemikian rupa hingga pompa tidak terlalu sering hidup-mati.

## 6 | PEMASANGAN

Dalam bab ini dibahas cara-cara pemasangan instalasi pompa. Adapun yang dimaksud dengan instalasi pompa (pumping plant) di sini adalah pompa beserta sistem pipanya.

### 6.1 Pemasangan Pompa Mendatar

Dalam merencanakan pemasangan pompa, orang perlu memperhatikan seg-segi yang menyangkut penempatan pompa, pondasi, urutan pemasangan, dan pemasangan kelurusan. Hal-hal ini dapat diuraikan secara terperinci sebagai berikut.

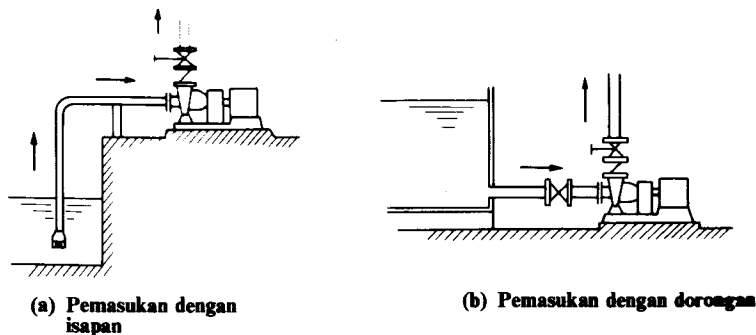
#### 6.1.1 Penempatan pompa

Penempatan pompa mendatar harus memperhatikan tiga hal yaitu letak pompa terhadap permukaan zat cair yang diisap, faktor lingkungan, dan penempatan instrumentasi, seperti di bawah ini.

##### (1) Letak pompa terhadap permukaan zat cair

Pompa mendatar harus diletakkan sedekat mungkin dengan tadah isap. Posisinya harus sedemikian rupa hingga tidak memerlukan terlalu banyak belokan pada pipa isap. Dengan tindakan ini kerugian head isap dapat dikurangi sehingga kesulitan yang dapat timbul pada waktu operasi dapat diperkecil.

Ada dua kemungkinan untuk meletakkan pompa terhadap tadah isap seperti diperlihatkan dalam Gb. 6.1. yaitu (a) pemasukan dengan isapan, dan (b) pemasukan dengan dorongan atau tekanan. Pemasukan dengan isapan agak sulit untuk dipakai dalam operasi otomatis karena diperlukan pompa vakum untuk memancing bila pompa belum terisi air atau air bocor dari katup isap. Kesulitan ini tidak ditemui pada pemasukan dengan dorongan, sehingga bila memungkinkan, cara ini sebaiknya dipilih untuk operasi otomatis.



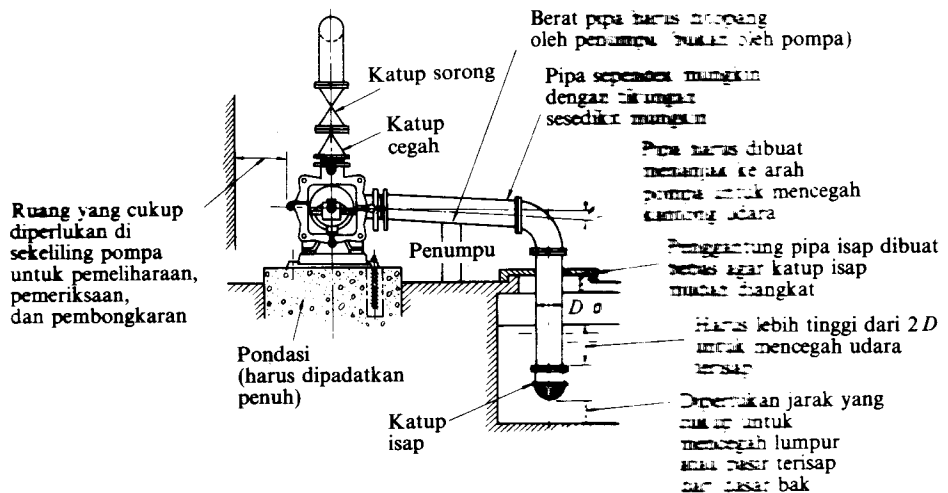
Gb. 6.1 Letak tadah isap dan pompa.

Dalam hal pompa drainase, motor penggerak dan peralatan listrik harus ditempatkan cukup tinggi agar tidak terendam air banjir. Jika hal ini tidak memungkinkan, perlu diambil langkah khusus, seperti penggunaan pompa drainase dengan rancangan khusus.

## (2) Faktor lingkungan

Pompa-pompa pada umumnya dibuat untuk dipakai di dalam gedung. Karena itu pompa harus ditempatkan di dalam kamar pompa dan terlindung terhadap terik matahari, angin, dan hujan. Untuk memudahkan pemeliharaan dan pemeriksaan, kamar pompa harus dijaga tetap bersih dan terang serta kering. Ruang pompa perlu mempunyai ventilasi yang baik, secara alamiah maupun dengan kipas angin.

Untuk pembongkaran dan pemasangan perlu disediakan ruangan yang cukup luas. Gb. 6.2 memberikan contoh pemasangan yang baik. Jika beberapa pompa akan dipasang di dalam satu ruangan, harus diberikan ruangan antara yang cukup antara satu pompa dengan yang lain.



Gb. 6.2 Langkah-langkah pengamanan dalam pemasangan pompa kecil mendatar.

## (3) Penempatan instrumentasi

Alat-alat ukur dan instrumentasi lainnya harus dipasang sedemikian rupa hingga mudah dilihat dan dibaca oleh operator pompa.

### 6.1.2 Pondasi

Dalam merencanakan pondasi pompa perlu diperhatikan hal berikut ini.

#### (1) Kekuatan

Pondasi harus dapat sepenuhnya menyerap getaran pompa dan penggeraknya, di samping harus dapat menahan beratnya. Untuk itu berat atau masa pondasi itu sendiri harus memenuhi persyaratan berikut.

Untuk pompa yang dikopel langsung dengan motor listrik, berat pondasi harus lebih dari 3 kali berat mesin.

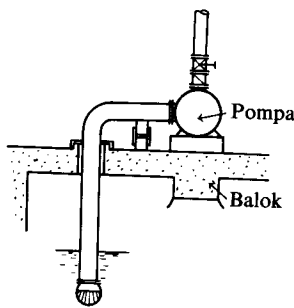
Untuk pompa yang dikopel langsung dengan motor bakar torak, berat pondasi harus lebih dari 5 kali berat mesin.

## (2) Landasan

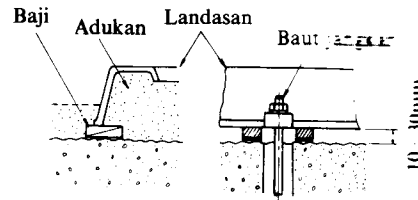
Jika pompa dikopel langsung dengan penggerak mula atau digerakkan melalui roda gigi, maka semuanya harus dipasang pada satu landasan. Apabila dipergunakan transmisi sabuk (belt), pompa dan motor penggerak dapat mempunyai landasan yang terpisah. Namun dalam hal ini harus diingat agar sabuk tidak slip atau landasan tidak miring atau bergeser karena tegangan sabuk.

## (3) Letak landasan terhadap balok

Jika pompa akan dipasang pada lantai beton, maka garis sumbu landasan pompa sebaiknya diletakkan tepat segaris dengan sumbu balok lantai seperti diberikan dalam Gb. 6.3. Lebih baik lagi jika landasan pompa dapat berdiri di atas dua balok.



Gb. 6.3 Balok dan letak pompa.



Gb. 6.4 Landasan dan pondasi.

## (4) Kedataran landasan

Agar landasan dapat duduk mendatar dengan baik pada pondasi, perlu disediakan celah sebesar 10 sampai 30 mm antara bidang atas pondasi dan bidang dasar landasan. Hal ini dimaksud untuk dapat menyetel kedataran landasan. Setelah landasan disetel datar pada pondasi, kemudian celah diisi dengan aduk (grout).

## (5) Lain-lain

Pada waktu membuat pondasi, harus disediakan lubang-lubang persegi yang cukup besar untuk baut jangkar agar pelurusan (alignment) dapat dilakukan dengan mudah pada waktu pemasangan.

Pompa baru boleh dipasang pada pondasi setelah beton mengeras sepenuhnya.

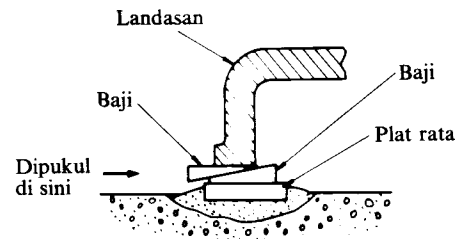
## 6.1.3 Urutan Pemasangan

Pemasangan pompa harus dilakukan dalam urutan yang baik sebagai berikut.

## (1) Peletakan mesin

Pompa dan motor penggerak harus diletakkan pada pondasi sedemikian rupa hingga sumbu poros kedua mesin tersebut dapat menjadi segaris dan mendatar sempurna. Untuk dapat menyetel dengan teliti, diperlukan ganjal-ganjal berbentuk baji dari baja. Tiap pasang baji terdiri dari dua baji, baji atas dan baji bawah. Tiap pasangan baji ini diganjalkan di bawah dasar landasan mesin di antara lubang-lubang jangkar pada pondasi (Gb. 6.5). Jangkar dimasukkan ke dalam lubang-lubang jangkar tersebut.

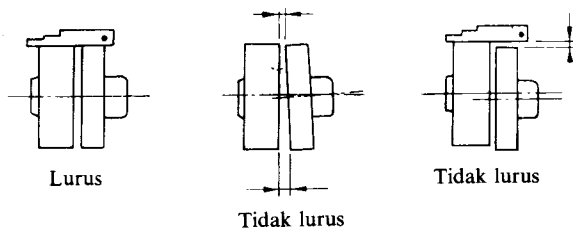
Selanjutnya ganjal-ganjal tersebut diatur tingginya (dengan menggeser-geser baji atas) sehingga sumbu poros-poros mesin menjadi datar dan segaris. Setelah itu aduk dicor ke dalam lubang pondasi. Pelurusan terakhir harus dilakukan setelah aduk benar-benar mengeras (kurang lebih 2 minggu kemudian).



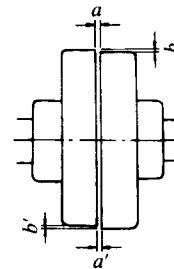
Gb. 6.5 Pemasangan baji.

## (2) Pelurusan (centering) dan penetapan

Pompa dan penggeraknya pada umumnya sudah diluruskan di atas satu landasan oleh pabrikan pembuatnya. Meskipun demikian perangkat ini tidak boleh langsung dijalankan setelah dipasang di tempat, karena landasan yang dipakai umumnya tidak mempunyai kekakuan yang tinggi sehingga masih mungkin terjadi deformasi elastis. Selain itu perlu diingat bahwa pelurusan di pabrikan umumnya dilakukan di atas bidang yang sangat rata, berbeda dengan permukaan yang ada di tempat pemasangan di lapangan. Jika baut-baut jangkar dikencangkan pada permukaan beton yang tidak benar-benar rata di lapangan, maka landasan akan mengalami perubahan bentuk, sehingga sumbu poros pompa dan motor penggeraknya menjadi tidak lurus kembali. Pemakaian ganjal-ganjal dari baji mempunyai tujuan untuk mendapatkan kerataan bidang dasar landasan pada waktu pemasangan di atas permukaan pondasi beton yang tidak beraturan.



Gb. 6.6 Pemeriksaan kelurusan sumbu.



$a, a'$ : Kurang dari  $5/100$  mm  
 $b, b'$ : Kurang dari  $5/100$  mm

Gb. 6.7 Ketelitian pelurusan.

Pelurusan sumbu poros, seperti diperlihatkan dalam Gb. 6.6 dilakukan sebagai berikut. Kopling diputar, kemudian celah antara kedua permukaan kopling diukur dengan feeler. Selain itu diperiksa juga kelurusan permukaan keliling pasangan kopling. Kemudian mur-mur baut jangkar dikencangkan sedikit sedemikian rupa sehingga harga-harga  $a, a', b$ , dan  $b'$  menjadi sebesar yang diberikan dalam Gb. 6.7. Selanjutnya baji-baji dipukul secara hati-hati hingga semuanya menyentuh dasar landasan. Jika setelah diperiksa kembali harga-harga  $a$  dan  $b$  tidak menyimpang dari yang ditetapkan, maka baut-baut jangkar dapat dikencangkan sampai teguh. Sekali lagi kelurusan diperiksa, dan jika semua masih dalam keadaan baik, maka celah antara dasar landasan dan pondasi diisi dengan aduk. Dengan demikian baji akan menyatu dengan pondasi yang merupakan struktur yang menyatu pula dengan landasan.

### 6.1.4 Pemeriksaan kelurusan

Setelah pompa terpasang dan dioperasikan, pemeriksaan kelurusan masih perlu

dikerjakan secara periodik. Hal ini diperlukan karena kelurusan dapat berubah oleh berbagai hal sebagai berikut.

- 1) Perubahan bentuk (distorsi) rumah pompa karena pemuaian dan pengerutan pipa-pipa. (Cara mengatasi keadaan ini akan diuraikan kembali).
- 2) Perubahan bentuk struktur bangunan dan tanah.

Ketidak lurusan yang terjadi pada pompa sebagai akibat dari hal-hal di atas dalam jangka panjang akan menimbulkan keausan yang cepat pada bantalan serta getaran yang besar pada mesin. Karena itu kelurusan harus diperiksa dan dikoreksi dalam jangka-waktu tertentu. Adapun caranya adalah sebagai berikut.

#### (1) Pemeriksaan kelurusan

Pemeriksaan kelurusan dilakukan dengan menggunakan mistar pelurus (centering gauge) sepanjang kurang lebih 150 mm. Sisi mistar diimpitkan dengan keliling kedua pasangan kopling, seperti diperlihatkan dalam Gb. 6.6. Kemudian celah antara sisi mistar dan keliling luar kopling diukur dengan feeler. Dari pengukuran ini dapat diketahui apakah poros cukup lurus atau tidak menurut ketentuan dalam Gb. 6.7.

Jika di lapangan tidak tersedia mistar pelurus, dapat digunakan penggaris dari baja yang benar-benar lurus. Sebagai pengganti feeler, jika alat ini juga tidak ada, dapat digunakan kertas surat kabar (tiap lembar kertas ini tebalnya kurang lebih 0,1 mm), yang dimasukkan pada celah untuk menaksir jaraknya.

Selain itu, poros diputar dengan tangan pada koplingnya. Biasanya jika poros dapat berputar dengan halus dan ringan, tidak ada masalah yang serius. Jika ada penyimpangan yang terlalu besar pada kelurusan, akan ada bagian pompa yang bergesek dan pompa tidak dapat berputar dengan ringan dan halus.

#### (2) Koreksi kelurusan

Jika kelurusan berubah karena perubahan pada tanah atau lainnya setelah aduk mengeras, koreksi dengan baji tidak mungkin lagi dilakukan. Karena itu koreksi harus dikerjakan dengan menyesuaikan letak kaki motor di atas landasan. Caranya ialah dengan menambah atau mengurangi plat pengganjal (shim) pada celah di bawah kaki motor hingga persyaratan dalam Gb. 6.7 tercapai. Dalam hal ini letak dowel (baut pas, untuk mencegah motor bergeser) yang ada di kaki motor harus dipindahkan di dekatnya dengan membuat lubang yang dirim. Lubang dowel yang lama tidak boleh dipergunakan karena posisi yang baru dari kaki motor sudah bergeser terhadap landasan.

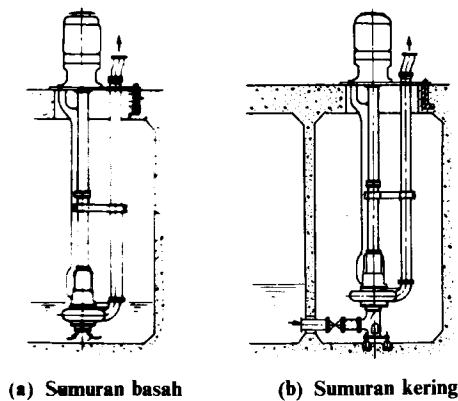
## 6.2 Pompa Tegak

Cara-cara memasang pompa tegak (termasuk pompa motor benam) pada dasarnya sama dengan pompa mendatar. Karena itu di sini hanya akan disinggung hal-hal yang khusus saja seperti diuraikan di bawah ini.

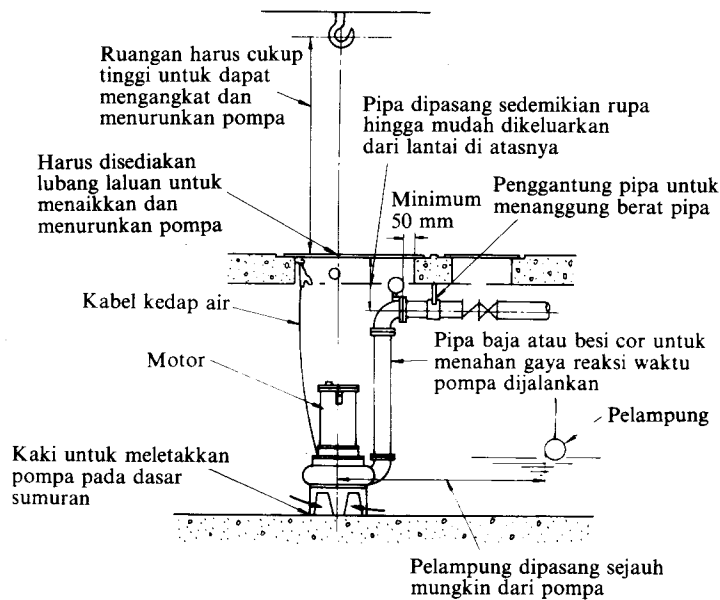
#### (1) Letak pompa terhadap permukaan zat cair

Ada dua jenis pompa tegak yang menggunakan motor di atas tanah yaitu (a) jenis sumuran basah, dan (b) jenis sumuran kering. Pompa jenis sumuran basah mempunyai badan yang terbenam di dalam air sedangkan jenis sumuran kering terletak di atas permukaan air, seperti diperlihatkan dalam Gb. 6.8. Untuk kedua jenis ini, muka air terendah di dalam sumuran pada waktu pompa beroperasi harus ditetapkan. Setiap pompa harus bekerja normal tanpa mengisap udara pada muka air terendah ini. Karena itu harga muka air terendah ini harus ditetapkan secara teliti.

Dalam hal pompa benam dengan motor di atas pompa (Gb. 6.9), jika muka air turun



Gb. 6.8 Pompa tegak.



Gb. 6.9 Langkah-langkah pengamanan dalam pemasangan pompa dengan motor terendam (diletakkan di dasar sumuran).

pada waktu operasi, motor akan bekerja di udara sehingga pendinginannya menjadi kurang efektif. Di sini motor akan menjadi cepat panas sehingga operasi dalam keadaan demikian harus dibatasi. Waktu operasi ini tergantung pada ukuran motor, laju aliran air masuk ke dalam tadah isap, dan besarnya kapasitas pompa. Karena jangka waktu operasi di udara yang berbeda-beda tergantung pada daya motor dan disainnya, maka harus diperoleh kepastian dan perhatian sebelum dipasang. Selain dari pada itu, jika motor benam akan dipasang di dalam tadah isap, motor harus dihubungkan dengan tanah untuk pengamanan.

## (2) Baji pengganjal

Poros pompa tegak harus distel kelurusannya dan landasan harus dipasang mendatar. Untuk ini, seperti pada pompa mendatar, dipergunakan baji pengganjal. Cara-cara pemasangan dan pelurusannya sama seperti pada pompa mendatar.

## (3) Kabel kedap air

Untuk memberikan daya pada motor benam diperlukan kabel kedap air (water-proof). Kabel ini dapat mengalirkan listrik dalam keadaan terbenam tanpa menimbulkan masalah. Namun terminal kabel yang harus dihubungkan dengan sumber daya tidak kedap air. Jadi jika terminal ini dibiarkan kena air di luar pada waktu menunggu pemasangan atau sebelum dihubungkan dengan sumber daya, maka air dapat meresap ke bagian dalam kabel. Hal ini akan merusak isolasi kabel. Karena itu bagian terminal kabel kedap air harus dilindungi terhadap kelembaban sebelum dihubungkan dengan sumber daya.

Selain dari pada itu kabel kedap air tidak boleh dipakai untuk menahan motor atau beban lain pada waktu pemasangan karena kawat-kawat di bagian dalamnya dapat putus.

### 6.3 Pompa Sumur Dalam Dengan Motor Benam

Pompa dengan motor benam semakin banyak dipakai akhir-akhir ini untuk memompa air dari sumur dalam. Hal ini dimungkinkan oleh keandalan yang tinggi dari pompa motor benam. Namun, bila tidak ditangani dengan baik, tidak akan diperoleh keuntungan seperti yang diharapkan.

Berbeda dengan pompa motor benam yang lain, pompa motor benam sumur dalam mempunyai masalahnya sendiri. Salah satu di antara masalah itu adalah ukurannya yang tidak dapat terlalu besar karena akan menyulitkan penumpuannya di dalam sumur dalam. Selain itu besarnya fluktuasi muka air sumur memerlukan pemecahan khusus.

## (1) Uji coba pemompaan dan pembersihan sumur

Bila sumur telah selesai dikerjakan, uji coba pemompaan harus dilakukan untuk mengukur air yang dapat dipompa dan muka air di dalam sumur. Dalam hal ini laju aliran air yang dapat dihasilkan harus ditentukan. Jika air dipompa melebihi kapasitas sumur, maka kandungan pasir di dalam air akan bertambah besar dan umur sumur dapat menjadi pendek. Jadi laju pemompaan air yang sesuai dengan kapasitas sumur harus ditentukan lebih dahulu sebelum ditentukan ukuran pompa yang akan dipasang permanen.

Selama uji coba pemompaan dan pembersihan sumur biasanya akan terisap pasir dalam jumlah besar dari dalam sumur. Jadi untuk ini sebaiknya dipakai pompa khusus untuk keperluan uji coba dan tidak dipakai pompa yang akan dipasang secara permanen. Jika pasir yang dikeluarkan sudah berkurang dan air menjadi jernih, maka dapat dipasang pompa permanen. Dengan demikian pompa motor benam yang baru ini akan mempunyai umur panjang.

## (2) Pengukuran muka air tanah

Setelah sumur dinyatakan bersih, perlu ditentukan hubungan antara laju aliran air yang dipompa dan muka air sumur yang bersangkutan dengan laju aliran tersebut. Muka air ini disebut "muka air mengalir" (running water level). Pengukuran dilakukan dengan memompa sumur pada beberapa laju aliran yang tetap. Pada masing-masing harga laju aliran tersebut diukur muka air yang terjadi di dalam sumur sampai dicapai keadaan stasioner (muka air tidak turun lagi). Dalam hal ini "muka air alami" (natural water level), yaitu muka air sumur yang terjadi bila tidak dipompa, perlu juga diukur. Hasil pengukuran harus dicatat termasuk tanggal pengukurannya.

Untuk mengukur muka air di dalam sumur dapat digunakan batu-duga yang diikat



dengan tali. Namun karena sumur bor umumnya sempit, lebih mudah digunakan cara berikut ini.

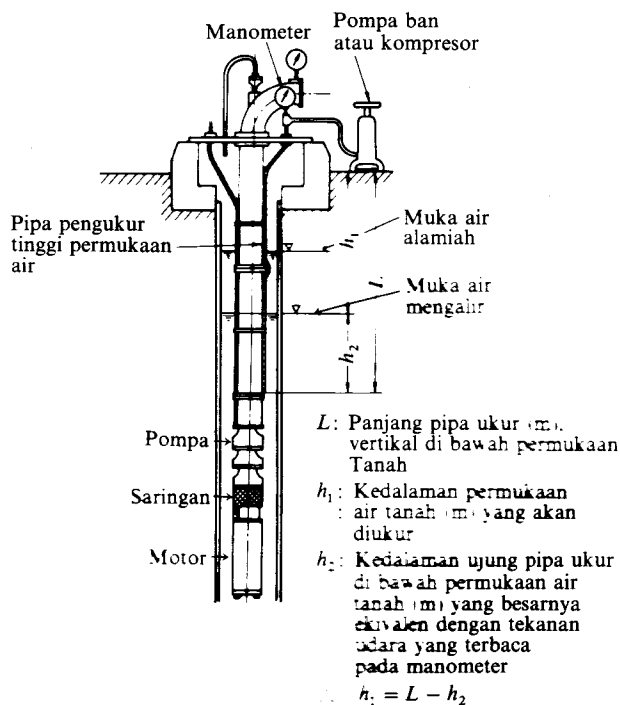
(a) Pengukuran dengan konduktor listrik

Cara ini memakai kabel yang diisolasi di mana ujungnya terbuka. Ujung yang terbuka ini diturunkan ke dalam sumur sampai menyentuh muka air. Sentuhan ini akan membunyikan bel. Maka panjang kabel mulai dari ujung yang terbuka sampai muka tanah adalah kedalaman muka air yang diukur.

(b) Pengukuran dengan udara tekan

Seperti diperlihatkan dalam Gb. 6.10 cara ini menggunakan sebuah pipa ukur yang berdiameter kecil. pipa ini dimasukkan ke dalam sumur sampai ke ujung pipa kolom. Ujung atas pipa diberi sambungan *T* yang dihubungkan dengan manometer dan dengan pompa ban mobil. Kemudian udara dipompakan ke dalam pipa. Air yang mengisi pipa ukur akan didesak udara sehingga permukaan air di sini semakin turun. Tekanan udara yang ditunjukkan oleh manometer akan naik terus sampai air di dalam pipa ukur habis dan udara yang dipompa membocor melalui ujung pipa. Pada saat itu tekanan udara tidak akan naik lagi meskipun udara dipompakan terus. Maka tekanan maksimum yang ditunjukkan oleh manometer adalah ekuivalen dengan tinggi muka air di dalam sumur sampai ujung bawah pipa ukur, yaitu  $h_2$  (m). Jika panjang pipa ukur dari permukaan tanah adalah  $L$  (m), maka kedalaman permukaan air di dalam sumur adalah.

$$h_1 = L - h_2$$



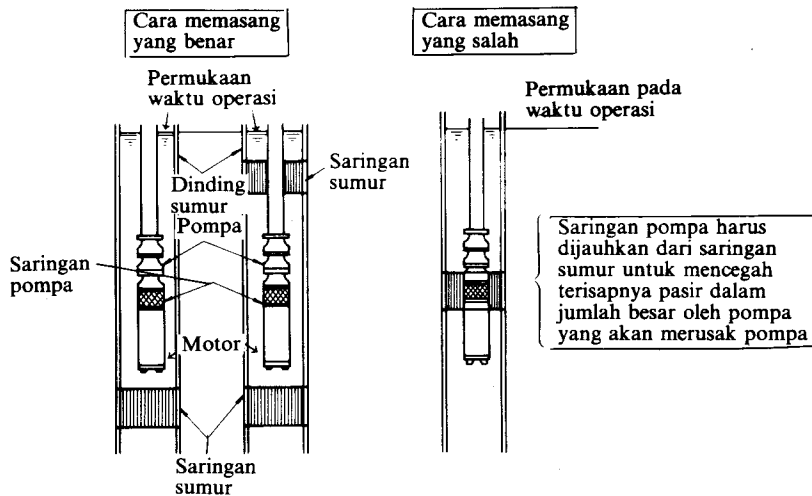
Gb. 6.10 Cara mengukur kedalaman muka air pada sumur.

(3) Penempatan instalasi pompa

Pompa harus diletakkan paling sedikit 2 sampai 5 meter di bawah muka air mengalir terendah dari sumur. Jarak 2 m adalah untuk pompa berdiameter kecil. Untuk

pompa yang semakin besar diameternya, harus diambil kedalaman yang semakin besar sampai 5 m.

Letak nosel isap pompa tidak boleh bertepatan dengan letak saringan sumur. Jika hal ini terjadi maka akan terlalu banyak pasir yang terisap. Letak nosel isap pompa yang baik adalah di atas dan agak jauh dari saringan sumur. Namun hal ini kadang-kadang sukar dipenuhi karena kondisi persyaratan kedalaman minimal 2 – 5 di bawah muka air mengalir terendah. Jika demikian maka pompa dapat dipasang di antara saringan pertama dan saringan kedua dari sumur. Gb. 6.11 menunjukkan contoh pemasangan yang salah dan yang benar.



Gb. 6.11 Cara menempatkan pompa di dalam sumur.

(4) Persiapan pemasangan

Untuk memasang instalasi pompa perlu disediakan peralatan berikut ini.

Katrol/takel (min. 3 ton): 1 perangkat

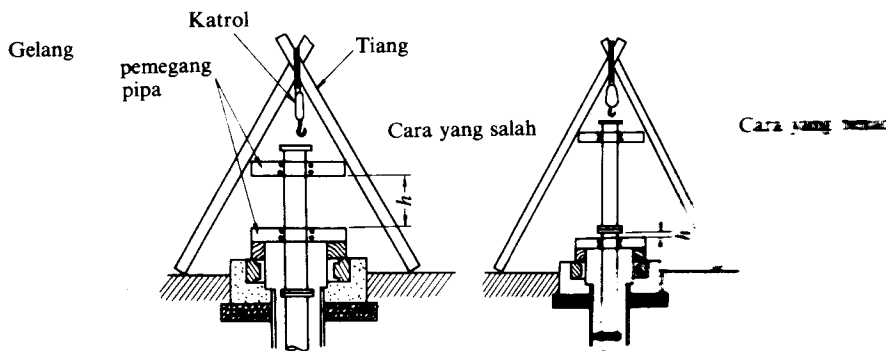
Tiang/kaki penggantung: 1 perangkat

Gelang pemegang pipa: 2 buah

Kunci-kunci: 1 perangkat

Kabel: 2 buah

Tiang yang disediakan harus cukup tinggi untuk dapat mengangkat tegak satu



Gb. 6.12 Cara memasang pompa sumur.

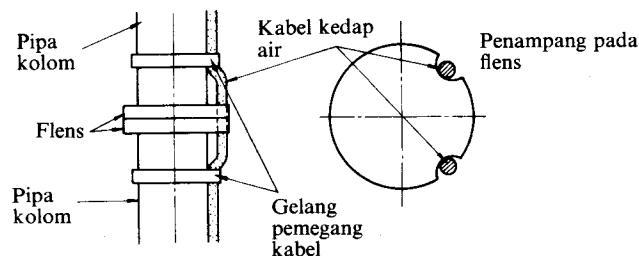
lengte pipa seperti diperlihatkan dalam Gb. 6.12. Jarak  $h$  antara gelang pemegang pipa dan flens harus diambil sekecil mungkin untuk keamanan. Juga untuk mencegah slip antara pipa dan pemegang, permukaan pipa kolom harus kering dan bersih. Untuk sumur-sumur berdiameter kecil sering dipakai pipa ulir. Penyambungan antara potongan-potongan pipa dilakukan dengan soket, di mana dipakai bahan perapat (seal) untuk mencegah kebocoran. Dalam hal ini gelang pemegang pipa harus dipasang sedekat mungkin di bawah soket seperti halnya pada sambungan flens.

#### (5) Pemasangan

Selama pemasangan harus dijaga agar tidak ada benda yang jatuh ke dalam sumur. Baut, mur, soket, pemegang pipa dan lain-lain harus dikencangkan dengan saksama agar tidak ada sambungan yang kendur atau bocor pada waktu pemasangan dan operasi. Untuk mencegah kebocoran air, flens harus dirapatkan dengan paking dan ulir pipa harus dirapatkan dengan bahan perapat. Dengan mempergunakan dua buah gelang pemegang pipa secara berganti-ganti, pipa kolom disambungkan satu demi satu sambil menurunkan pompa ke dalam sumur.

#### (6) Penanganan kabel kedap air

Jangan sekali-kali menahan berat pompa dengan kabel kedap air. Kabel tidak boleh tergores benda tajam. Kabel sebaiknya dilekatkan pada pipa kolom dengan gelang plastik di atas dan di bawah flens atau soket, seperti diperlihatkan dalam Gb. 6.13.



Gb. 6.13 Cara memasang kabel kedap air.

#### (7) Pemasangan landasan

Pipa kolom yang paling atas harus digantung pada landasan dan landasan harus didudukkan secara kokoh pada pondasi beton. Dalam hal ini kedataran harus diukur dengan waterpas dan penyetelan kedataran dilakukan dengan baji pengganjal. Untuk menetapkan landasan pada pondasi setelah kedataran tercapai, celah dicor dengan aduk.

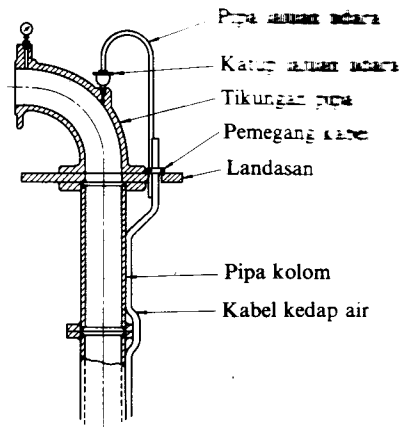
#### (8) Pemasangan belokan pipa keluar, katup penutup, dan katup laluan udara

Setelah landasan terpasang, kemudian pasang belokan pipa keluar, katup cegah, katup sorong, dan pipa penyalur dalam urutan demikian itu. Katup laluan udara (air vent) biasanya dipasang pada belokan pipa keluar. Katup ini berfungsi secara otomatis mengeluarkan udara dari pipa kolom pada waktu pompa distart dan memasukkan udara pada waktu pompa dimatikan agar tidak terjadi tekanan vakum di pipa kolom bagian atas. Air yang turun dari pipa kolom ini dikembalikan ke dalam sumur secara pelan-pelan melalui sebuah katup cegah berukuran kecil yang dipasang dekat di atas badan pompa. Gb. 6.14 memperlihatkan susunan pipa keluar di atas tanah.

## (9) Penyambungan kabel

Jika pompa dan pipa telah selesai dipasang, kabel tenaga dapat disambung dengan sumber daya sesuai dengan gambar atau spesifikasi. Kabel kedap air di atas tanah perlu dilindungi terhadap kemungkinan goresan atau kerusakan lainnya dengan menggunakan saluran tertutup atau pipa. Perlu diingat bahwa temperatur kabel dapat naik secara tidak normal jika kabel panjang dibiarkan tergulung di atas tanah.

Jika terdapat penurunan tegangan yang cukup besar pada waktu operasi, ada kemungkinan motor dapat terbakar. Dalam hal ini perlu diambil langkah-langkah pencegahan terutama jika kabel terlalu panjang. Kapasitas sumber tenaga dan ukuran kabel harus cukup untuk membatasi penurunan tegangan agar tidak lebih dari 5% serta harus memenuhi spesifikasi motor.

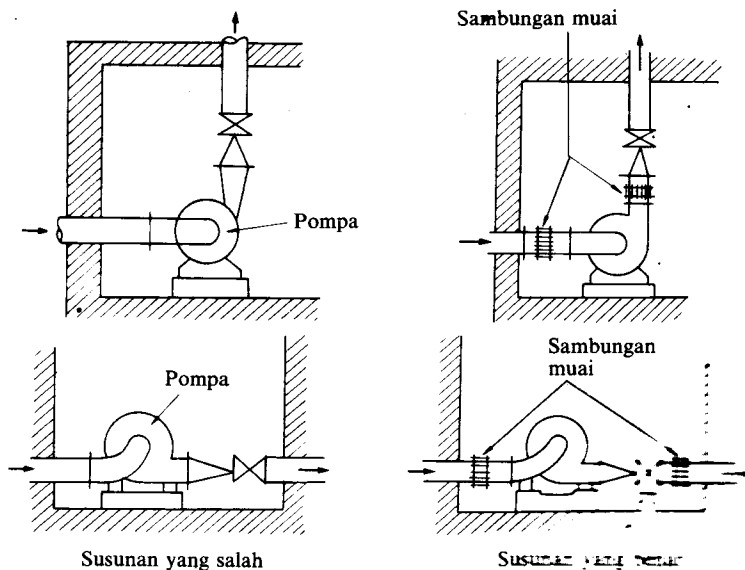


Gb. 6.14 Susunan pipa di atas tanah.

## 6.4 Pemipaan

Kapasitas pemompaan dan umur pompa sering kali ditentukan oleh kesempurnaan pemipaan. Karena itu pemipaan harus direncanakan untuk mendapatkan performansi pompa yang optimal. Pemasangannya pun harus dilakukan secara benar.

Untuk menjaga pompa agar tidak terkena gaya yang berlebihan yang berasal dari sistem pipa maka pipa isap, pipa keluar dan katup-katup harus ditumpu pada lantai atau dinding bangunan. Selain itu bila diperkirakan akan ada pemuaian dan pengerutan pipa atau penurunan tanah, dapat dipertimbangkan untuk melengkapi pemipaan



Gb. 6.15 Susunan pipa di sekitar pompa di dalam kamar pompa.

dengan sambungan khusus yang mahal pada ke dua sisi pompa. (Lihat Gb. 6.15). Baut-baut pada flens yang menghubungkan pipa dan pompa harus dikencangkan secara merata. Untuk ini baut dikencangkan secara berangsur-angsur dalam urutan yang saling menyilang secara simetris. Dengan cara ini flens dapat dirapatkan secara merata sehingga kemungkinan kebocoran air atau udara menjadi lebih kecil.

Beberapa hal khusus mengenai bagian-bagian pemipaan akan diuraikan lebih lanjut secara terperinci di bawah ini.

#### 6.4.1 Pipa isap

Pipa ini memerlukan penanganan tertentu untuk memberikan performansi yang baik pada instalasi pompa, seperti diuraikan di bawah ini.

##### (1) Pencegahan kebocoran

Pengamanan khusus perlu diberikan terhadap kemungkinan masuknya udara ke dalam pipa isap karena hal ini tidak mudah dideteksi. Bila mungkin, penggunaan pipa ulir harus dihindari dan sebagai gantinya dipakai pipa berflens.

##### (2) Pencegahan kantong udara

Dalam hal pompa beroperasi mengisap zat cair, seperti diperlihatkan dalam Gb. 6.1(a), pipa isap harus dipasang dengan cara sedemikian hingga pipa akan mempunyai arah menurun dari pompa ke tadah isap dengan kemiringan  $1/50$  sampai  $1/200$ . Hal ini dimaksud untuk menghindari terbentuknya kantong udara. (Lihat Gb. 6.16). Kemiringan ini tidak boleh berubah secara mendadak sepanjang pipa. Dalam hal pemasukan dengan dorongan (Gb. 6.1.b), pipa isap harus menurun searah masuknya air ke dalam pompa.

##### (3) Pemasangan saringan

Untuk mencegah benda-benda asing dan sampah terisap ke dalam pompa, tadah isap harus boleh diisi air setelah dibersihkan secara sempurna. Pada pintu masuk ke dalam tadah harus dipasang saringan.

##### (4) Kedalaman ujung pipa

Ujung pipa isap harus dibenamkan di bawah muka zat cair dengan kedalaman tertentu untuk mencegah tersapnya udara dari permukaan. Kedalaman ini harus cukup meskipun permukaan zat cair di dalam tadah isap turun sampai batas minimum.

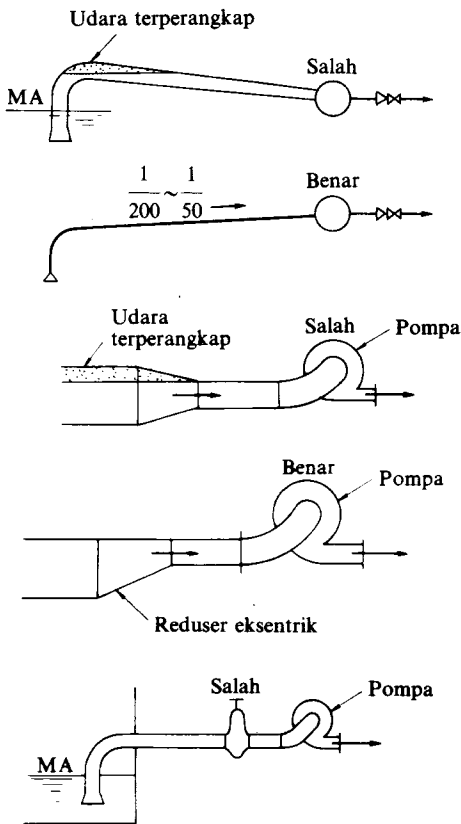
##### (5) Rantai penarik katup

Katup isap sering kali mendapat gangguan karena rusak atau karena ada benda asing tersangkut pada kedudukan katup. Untuk mengatasi hal ini dapat dipakai katup isap yang diperlengkapi dengan rantai penarik katup. Di sebelah atas, rantai ini disangkutkan pada kedudukan pipa isap. (Gb. 6.17).

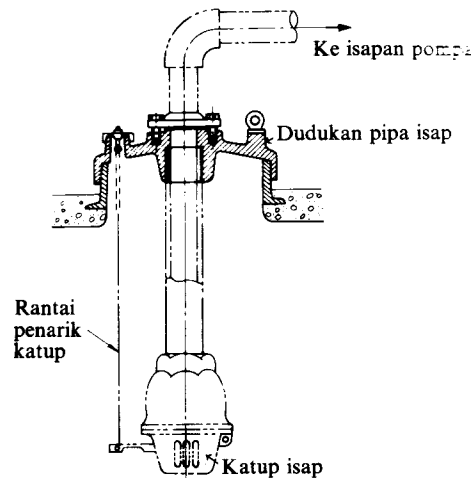
Jika pipa isap ditanam di dalam beton untuk mengatasi gangguan diperlukan orang yang dapat masuk ke dalam tadah isap melalui lubang orang. Sebelumnya, tadah isap harus dikeringkan lebih dahulu. Hal ini sangat menyulitkan. Untuk mengatasinya dapat dipakai konstruksi pipa isap yang digantung pada kedudukan di atas tanah yang dapat diangkat dengan mudah. (Gb. 6.17).

##### (6) Katup sorong

Pipa isap yang bekerja dengan isapan pada waktu memasukkan zat cair tidak boleh



Gb. 6.16 Susunan pipa isap pompa.



Gb. 6.17 Dudukan pipa isap.

dilengkapi dengan katup sorong. Katup ini akan menimbulkan kebocoran udara atau menjadi kantong udara. Dalam hal pemasukan dengan dorongan, katup sorong diperlukan pada waktu pompa harus dilepas atau diperiksa. Namun pemasangan katup ini harus dilakukan dengan cara yang benar yaitu dengan menempatkan pemutarnya di bawah atau di samping. Hal ini perlu untuk menghindari kantong udara. Katup ini harus selalu dalam keadaan terbuka penuh kecuali pada waktu pompa diperiksa atau dilepas.

#### (7) Reduser dan belokan

Bila memakai reduser, untuk menyambung pipa isap yang diameternya lebih besar dari pada diameter lubang isap pompa, harus dipakai reduser jenis eksentrik seperti diperlihatkan dalam Gb. 6.16(d). Hal ini dimaksud untuk menghindari kantong udara. Di sini reduser dipasang dengan sisi lurus di sebelah atas.

Bila diperlukan belokan, jumlahnya harus diusahakan sesedikit mungkin dengan sudut belokan yang sehalus mungkin. Belokan ini harus diletakkan sejauh mungkin dari pompa.

#### (8) Pipa isap bersama

Penggunaan pipa isap bersama untuk pompa-pompa yang dipasang paralel sama sekali tidak dapat dibenarkan. Pipa semacam ini akan mudah menimbulkan kantong

udara jika ada dari antara pompa paralel tersebut tidak dioperasikan. Melalui paking tekan pompa ini, udara dapat terisap masuk ke dalam pipa isap bersama sehingga mengganggu kerja pompa-pompa yang lain. Jadi untuk pompa paralel sebaiknya digunakan pipa isap individuil.

#### 6.4.2 Pipa keluar

Di bawah ini akan diberikan beberapa hal yang perlu diperhatikan dalam perencanaan dan pemasangan pipa keluar.

##### (1) Diameter pipa dan kecepatan aliran

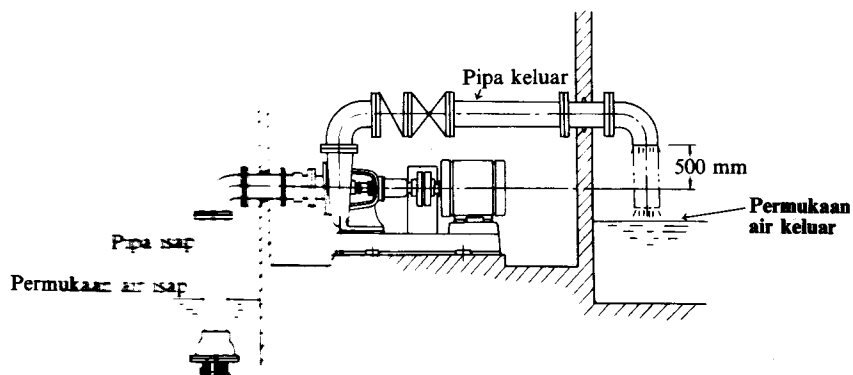
Diameter pipa harus ditentukan berdasarkan kecepatan aliran di dalam pipa dan tidak perlu sama dengan diameter lubang keluar pompa. Kecepatan aliran di dalam pipa pada umumnya tidak lebih dari 3 m/s. Namun kebanyakan orang mengambil 1 sampai 2 m/s. Perbedaan antara diameter pipa dan diameter lubang keluar pompa harus disesuaikan dengan menggunakan reduser atau difusor.

##### (2) Pencegahan kantong udara

Kantong udara juga merugikan pada sisi keluar karena dapat menimbulkan benturan air (water hammer). Untuk mencegahnya dapat digunakan katup laluan udara (air vent valve) yang dipasang pada bagian pipa yang melengkung ke atas. Katup ini akan mengeluarkan udara yang terjebak di bagian atas lengkungan pipa tersebut.

##### (3) Pengamanan tekanan perapat

Beberapa sistem pompa mengeluarkan zat cair di ujung pipa keluar pada ketinggian permukaan yang lebih rendah dari pada ketinggian sumbu pompa. Hal yang demikian ini dapat menimbulkan tekanan negatif di dalam pompa sehingga udara dapat terisap masuk melalui paking tekan pada poros. Pada pompa berukuran besar hal ini dapat dicegah dengan menggunakan air perapat yang dipompakan dengan pompa khusus ke dalam paking tekan. Cara ini hanya ekonomis untuk pompa berukuran besar. Namun, pada ujung pipa keluar dapat dijaga agar tingginya tidak kurang dari 500 mm di atas sumbu pompa maka tekanan di dalam pompa dapat dijaga tetap positif sehingga memungkinkan pemberian air kepada paking tekan tanpa menggunakan pompa lain. (Lihat Gb. 6.18).



Gb. 6.18 Susunan pipa keluar.

## (4) Tinggi pipa sifon

Bila pipa keluar berbentuk sifon, maka titik tertinggi sifon tersebut harus di atas permukaan zat cair di tadah isap tidak melebihi head tertutup (shut-off head) pompa. Jika head tertutup ini dilebihi, maka pompa tidak akan dapat mengalirkan zat cair pada awal kerjanya.

**6.4.3 Sambungan dan tumpuan pipa**

Di bawah ini akan diuraikan masalah pemipaan ditinjau dari segi strukturnya, yaitu yang berhubungan dengan penyambungan dan penumpuan.

## (1) Sambungan kaku dan luwes

Ada tiga macam sambungan kaku untuk pipa, yaitu sambungan flens, sambungan ulir, dan sambungan las. Sambungan ulir digunakan untuk pipa dengan diameter kecil yaitu kurang dari 150 mm. Sambungan flens dipakai untuk diameter sedang atau besar, dan sambungan las biasanya digunakan untuk temperatur tinggi dan tekanan tinggi.

Sambungan luwes dalam banyak hal harus dipakai pada pipa sebelum dan sesudah pompa, di mana sambungan kaku saja tidak cukup. (Lihat Gb. 6.15). Sambungan ini dipakai apa bila terdapat kondisi seperti di bawah ini.

- 1) Pompa mendapat gaya tarik dari pipa.
  - 2) Jika pipa ditanam di dalam tanah, akan timbul gaya karena penurunan tanah yang tidak sama di sepanjang pipa.
  - 3) Pipa memuai atau mengerut karena perubahan temperatur.
  - 4) Getaran dirambatkan melalui pipa.
- Contoh-contoh khas sambungan luwes diperlihatkan dalam Gb. 6.19.

## (2) Katup sorong dan katup cegah

Katup sorong dipasang pada sisi keluar pompa. Gunanya adalah untuk menutup pipa pada waktu pompa diperiksa atau dibongkar. Selain itu katup ini dipakai untuk menutup aliran pompa pada waktu pompa distart. Cara start seperti ini dilakukan pada pompa yang mempunyai daya terendah dalam keadaan tertutup agar motor tidak mendapat beban terlalu besar pada waktu start.

Katup cegah dipasang pada sisi keluar pompa dan dipakai untuk mencegah aliran balik di dalam pipa pada waktu pompa mati atau dihentikan.

Kedua katup ini harus dipasang dengan cara yang benar. Katup cegah dipasang setelah nosel keluar pompa dan kemudian katup sorong dipasang di sebelah hilirnya. Susunan seperti ini perlu karena memudahkan pemeliharaan katup cegah yang cenderung lebih cepat aus dari pada katup sorong.

## (3) Cara menumpu pipa


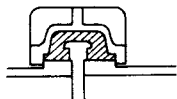


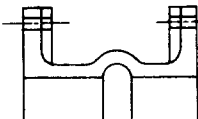
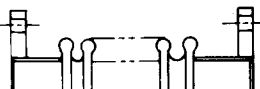
Pipa isap maupun pipa keluar harus ditumpu dengan penyangga atau ~~dasar~~ <sup>dukungan</sup> jangkar. Tumpuan ini berfungsi menahan berat pipa beserta zat cair yang ada di dalamnya serta menahan gaya-gaya yang timbul dari aliran zat cair pada pipa.

Jarak tumpuan untuk pipa yang dipasang mendatar harus ditentukan ~~sebelumnya~~ <sup>sedemikian</sup> rupa hingga pipa tidak mengalami lendutan yang berlebihan. Tumpuan ini ~~harus~~ <sup>harus</sup> dibuat bebas untuk memungkinkan pergerakan pipa oleh pemuaian ~~dan pemampatan~~ <sup>dan pemampatan</sup> karena perubahan temperatur dan lain-lain.

Jika pompa dipasang miring ke atas, komponen gaya searah sumbu ~~pipa~~ <sup>pipa</sup> harus diperhitungkan.

Untuk pipa panjang yang dipasang tegak, harus diberikan ~~gelang penyangga~~ <sup>dukungan</sup>.



Nama	Konstruksi	Diameter pipa (mm)	Tekanan kerja (*) (kgf/cm <sup>2</sup> )	Pemakaian
Sambungan mekanis		75 ~ 1.500	10	Pembengkokan, pemuaian
Sambungan victaulic		50 ~ 2.100	10	Pembengkokan (untuk sambungan rekat)
Sambungan selubung		300 ~ 2.000	10	Pemuaian, eksentrisitas, pembengkokan (untuk sambungan rekat)
Sambungan selongsong		65 ~ 2.000	10 ~ 50	Pembengkokan, pemuaian
Sambungan muai dengan karet		50 ~ 2.000	10 ~ 3	Pemuaian, eksentrisitas, pembengkokan, isolasi getaran (untuk sambungan rekat)
Sambungan muai dengan bellows		50 ~ 2.000	15	Pembengkokan, pemuaian (untuk sambungan rekat)

\* Catatan: Tekanan kerja menyatakan tekanan normal

Gb. 6.19 Sambungan pipa luwes (fleksibel).

pada jarak tertentu untuk mencegah pipa bergetar atau mengalami tekukan.

Bagian-bagian pipa yang tersambung pada belokan dan katup akan mendapat gaya dari zat cair yang mengalami perubahan kecepatan. Karena itu bagian-bagian pipa ini harus ditumpu untuk dapat menahan gaya-gaya tersebut di samping gaya beratnya. Cara menghitung gaya-gaya akan diuraikan sebagai berikut.

## (a) Tumpuan belokan

Tumpuan untuk belokan selain harus dapat menahan gaya berat pipa dan zat cair juga harus dapat menahan gaya yang berasal dari perubahan momentum aliran fluida yang membelok. Jika aliran berbelok dengan sudut  $\theta$  seperti diperlihatkan dalam Gb. 6.20 maka gaya  $F$  yang timbul dapat ditentukan dengan rumus

$$F = \frac{2W_w}{g} \cdot v^2 \sin \frac{\theta}{2} \quad (\text{kgf})$$

atau

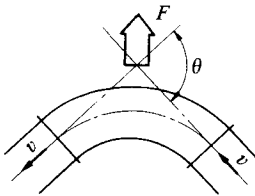
$$F = 2M_w \cdot v^2 \sin \frac{\theta}{2} \quad (\text{N})$$

di mana  $W_w$ : Berat zat cair per satuan panjang pipa (kgf/m)

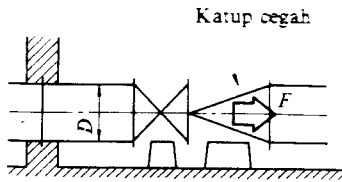
$M_w$ : Masa zat cair per satuan panjang pipa (kg/m)

$v$ : Kecepatan rata-rata aliran di dalam pipa (m/s)

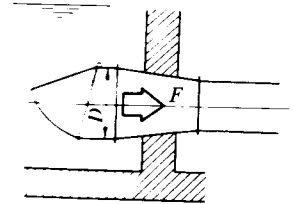
$g$ : Percepatan gravitasi ( $\text{m s}^{-2}$ )



Gb. 6.20 Gaya yang bekerja pada belokan.



Gb. 6.21 Katup cegah (check valve).



Gb. 6.22 Katup kepak (flap).

## (b) Tumpuan pipa sebelum dan setelah katup

Karena aliran zat cair menimbulkan gaya pada katup maka pipa harus ditumpu di dekat katup. Pipa di dekat katup harus dapat menahan berat katup, berat pipa, berat zat cair di dalam pipa dan katup, serta gaya  $F$  yang ditimbulkan tekanan zat cair. Gaya  $F$  ini dapat dihitung dengan rumus berikut.

1) untuk katup cegah (Gb. 6.21) atau katup kepak (Gb. 6.22).

$$F \approx 2 \frac{\pi D^2}{4} \cdot \gamma H_a \quad (\text{kgf})$$

atau

$$F \approx 2 \frac{\pi D^2}{4} \cdot \rho g H_a \quad (\text{N})$$

di mana  $H_a$ : Head pompa yang sesungguhnya (m),

$D$ : Diameter katup (m) menurut Gb. 6.21 dan 6.22

$\gamma$ : Berat zat cair per satuan volume ( $\text{kgf/m}^3$ )

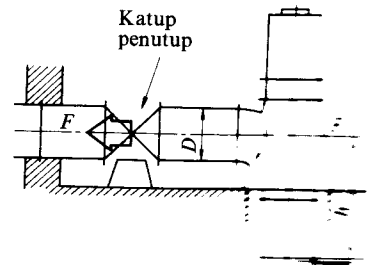
$\rho$ : Rapat masa zat cair ( $\text{kg/m}^3$ )

$g$ : Percepatan gaya berat ( $\text{m/s}^2$ )

2) Untuk katup penutup (Gb. 6.23)

$$F = \frac{\pi D^2}{4} \cdot \gamma (H_0 - h) \quad (\text{kgf})$$

atau



Gb. 6.23 Katup penutup.

$$F = \frac{\pi D^2}{4} \cdot \rho g (H_0 - h) \cdot (N)$$

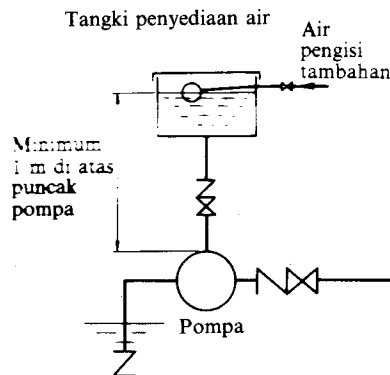
di mana  $H_0$ : Head tertutup (shut-off head) pompa (m)

$h$ : Jarak vertikal antara katup dan muka air di tadah isap (m)

#### 6.4.4 Cara memancing dengan tangki penyediaan air

Pompa yang mengisap zat cair melalui pipa isap dan katup isap sering mengalami kesulitan pada waktu akan dioperasikan setelah berhenti beberapa waktu. Hal ini disebabkan oleh kebocoran katup isap yang menyebabkan pipa isap menjadi kosong pada waktu pompa berhenti. Jika motor distart, pompa akan berputar tanpa ada aliran zat cair, sehingga pompa menjadi panas.

Untuk mengatasi kesulitan ini dipakai tangki penyediaan air guna mengamankan pompa yang bekerja otomatis. Tangki penyediaan air dipasang di dekat pompa. Sebuah pipa menghubungkan tangki dengan bagian atas rumah pompa seperti pada Gb. 6.24. Pipa ini diperlengkapi dengan katup cegah dan katup penutup di dekat pompa. Tangki diisi dengan air dari sumber lain atau dari reservoir yang diisi oleh pompa yang bersangkutan. Untuk mencegah air luber dari tangki, dapat digunakan pipa limpas atau katup dengan pelampung.



Gb. 6.24 Cara memancing dengan menggunakan tangki penyediaan air.

## 6.5 Pencegahan getaran dan bunyi

### 6.5.1 Penyebab getaran dan bunyi

Getaran dan bunyi dapat terjadi pada pompa karena beberapa sebab seperti berikut ini.

#### (1) Fluktuasi tekanan (lihat Pasal 5.7)

Karena jumlah sudu impeler pompa terbatas maka tekanan pada sisi keluar impeler tidak merata di seluruh kelilingnya. Fluktuasi tekanan ini akan dirambatkan secara periodik mulai dari lidah volut dan ujung sudu antar ke sisi keluar pompa sehingga menimbulkan getaran dan bunyi.

## (2) Aliran yang tak mantap

Di dalam impeler, sudu antar dan rumah pompa akan terjadi pusaran pada pompa dioperasikan jauh di luar titik spesifikasinya. Pusaran ini akan menimbulkan gaya penyebab getaran. Demikian pula jika katup terbuka sebagian dapat timbul pusaran tak stabil yang menyebabkan getaran dan bunyi.

## (3) Kavitasi (lihat Pasal 1.5)

## (4) Surjing (lihat Pasal 5.6)

## (5) Benturan air (lihat Pasal 5.5)

## (6) Keadaan tak seimbang bagian yang berputar.

Keadaan tak seimbang dapat terjadi karena keausan dan korosi pada bagian yang berputar. Selain itu kopling yang rusak sering pula menyebabkan getaran.

**6.5.2 Pencegahan getaran dan bunyi karena pompa dan katup**

Untuk mencegah getaran dan bunyi seperti diuraikan dalam butir 6.5.1 dapat diambil langkah-langkah berikut.

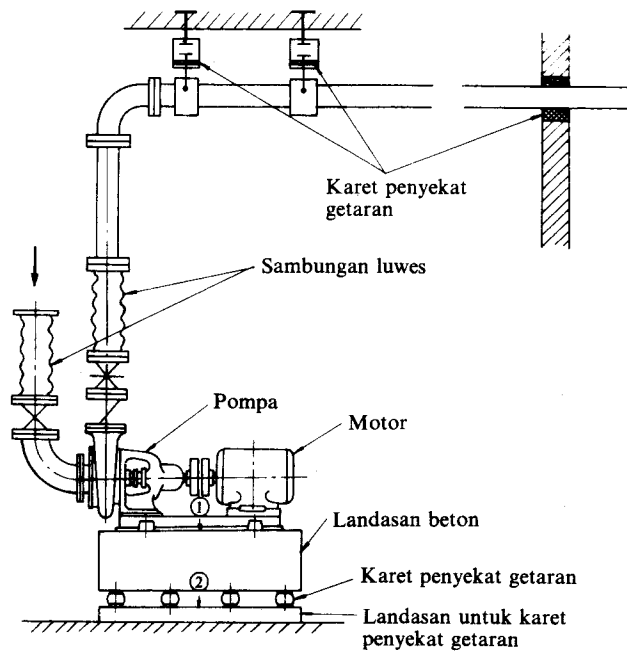
- 1) Perkuat pondasi dan penumpu pompa (lihat butir 6.1.2 dan 6.4.3)
- 2) Sediakan NPSH yang cukup untuk menghindari kavitasi (lihat butir 2.5.5)
- 3) Ambil tindakan untuk mencegah surjing (lihat butir 5.6.2).
- 4) Ambil tindakan untuk mencegah benturan air (lihat butir 5.5.2)
- 5) Operasikan pompa pada daerah kerja yang semestinya, yaitu dalam batas-batas yang diberikan oleh pabrikan (mengenai kapasitas, head total pompa, tinggi isap, dan lain-lain).
- 6) Operasikan pompa tanpa terlalu banyak mengecilkan pembukaan (mentrotel) katup keluar. Jika laju aliran terlalu besar secara berlebihan pada keadaan katup terbuka penuh, sebaiknya pompa diganti dengan yang lebih kecil, atau pada pipa keluar dipasang orifis.
- 7) Jika getaran dan bunyi timbul karena ada bagian yang aus atau mengalami korosi, perbaiki atau ganti bagian ini dengan yang baru. Selain itu periksa dan luruskan poros seperti diuraikan dalam butir 6.1.4).

**6.5.3 Cara mencegah rambatan getaran dan bunyi**

Meskipun bunyi yang ditimbulkan oleh pompa dan motor tidak berapa keras namun bunyi dapat dipantulkan oleh dinding-dinding ruang pompa yang kecil atau dapat dirambatkan melalui pipa ke ruang lain yang jauh dari pompa. Akibatnya dapat timbul resonansi yang menghasilkan bunyi yang keras. Berbagai cara perambatan bunyi dari pompa serta pencegahannya akan diuraikan di bawah ini.

## (1) Perambatan melalui pondasi dan gedung

Getaran dari pompa dan motor penggerakannya dapat dirambatkan ke tempat-tempat lain melalui pondasi dan gedung. Cara terbaik untuk mencegah hal ini adalah dengan memisahkan pondasi pompa dengan lantai gedung. Namun untuk pompa-pompa kecil cara ini jarang dipakai karena biaya pembuatannya mahal. Untuk mengatasi hal ini pada umumnya dianjurkan agar pondasi pompa diperkuat dan jika mungkin pompa jangan dipasang pada lantai yang dibuat langsung di atas tadah isap. Jika hal ini tidak dapat dilaksanakan maka sebaiknya diikuti petunjuk yang diuraikan dalam butir 6.1.2 (3). Penggunaan bantalan karet di bawah landasan pompa merupakan suatu cara yang efektif untuk mencegah perambatan getaran ke pondasi. Dalam hal ini harus juga digunakan sambungan pipa luwes untuk mencegah bergetarnya pipa. (Lihat Gb. 6.19).



Gb. 6.25 Susunan pipa untuk menyekat getaran.

(2) Perambatan melalui pipa penyalur

Sambungan pipa luwes (Gb. 6.19) harus dipasang di tengah pipa untuk memisahkan getaran pompa dari pipa. Jika ada kemungkinan bahwa getaran akan dirambatkan ke gedung melalui tumpuan pipa, maka pada tumpuan dan gelang pemegang pipa dapat diberi karet penyekat getaran. Gb. 6.25 memperlihatkan suatu contoh instalasi pompa di dalam gedung dengan perlengkapan pencegah getaran.

3 Perambatan melalui air

Denyutan tekanan yang ditimbulkan oleh sudu impeler yang terbatas jumlahnya seperti diuraikan dalam butir 6.5.1(1)) akan dirambatkan melalui air. Hal ini sering kali menimbulkan bunyi keras yang tak diharapkan di ruangan yang jauh dari pompa. Masalah ini dapat diatasi dengan memasang tangki udara di tengah pipa keluar untuk menyerap gelombang tekanan. Cara lain juga dapat ditempuh yaitu dengan mengurangi denyutan tekanan. Untuk ini dapat digunakan pipa penyaring bunyi atau pipa 1/4 panjang gelombang yang disesuaikan dengan gelombang denyutan yang ada.

(4) Perambatan melalui udara

Jika bunyi di dalam kamar pompa dapat diterima, asal tidak keluar dari ruangan, maka dinding kamar pompa harus dibuat dari bahan yang menyerap bunyi atau menyekat bunyi. Konstruksi penyekat bunyi dapat terdiri dari jendela kaca dua lapis atau dinding beton tebal tanpa jendela. Untuk penyerap bunyi dapat dipakai papan-papan akustik atau gerting akustik yang dilapiskan pada dinding dan langit-langit.

### 7.1 Pemeriksaan Pendahuluan Dan Cara Menjalankan Pompa

Pompa yang baru selesai dipasang atau yang sudah lama tidak dipakai, harus terlebih dahulu diperiksa sebelum dijalankan. Adapun prosedur pemeriksaannya adalah sebagai berikut.

(1) Pembersihan tadah isap dan pipa isap

Jika selama pembangunan instalasi ada benda asing, kotoran atau sampah yang masuk ke dalam pipa isap atau tadah isap, maka pompa akan mengalami gangguan yang serius. Karena itu pompa harus diperiksa sebelum diuji coba dan benda-benda yang dapat mengganggu dan merusak harus disingkirkan. Perhatian khusus perlu diberikan kepada pompa yang menggunakan perapat mekanis. Dalam beberapa kasus tertentu, paking tekan harus dipakai lebih dahulu di dalam kotak paking pompa dan kemudian setelah air di dalam pompa benar-benar bersih, perapat mekanis dipasang.

(2) Pemeriksaan sistem listrik

Ketepatan kapasitas pemutus sirkit, harga preset rele arus lebih, dan ukuran serta sambungan kabel harus diyakinkan. Untuk motor, terutama motor benam, tahanan isolasinya harus diukur dan dipastikan bahwa harganya sesuai dengan jaminan dari pabrikan.

(3) Pemeriksaan kelurusan

Kelurusan poros pompa dan motor harus diperiksa dengan cara dan standar yang telah diuraikan dalam butir 6.1.4. Jika ada penyimpangan, harus dikoreksi lebih dahulu.

(4) Pemeriksaan minyak pelumas bantalan

Gemuk dan minyak untuk bantalan harus diperiksa kebersihan dan jumlahnya.

(5) Pemeriksaan dengan memutar poros

Poros harus dapat berputar dengan halus jika diputar dengan tangan.

(6) Pemeriksaan pipa alat pembantu

Semua katup pada sistem pipa pembantu seperti pipa pendingin, pipa ~~perapat mekanis~~ perapat mekanis, dan pipa pengimbang, harus terbuka penuh. Jumlah ~~air pendingin~~ air pendingin dan air pelumas harus sesuai dengan persyaratan yang ~~diperlukan~~.

(7) Pemeriksaan katup sorong pada pipa isap

Katup sorong yang dipasang di tengah pipa isap (pada ~~sistem sistem dengan~~ dorongan) harus dipastikan dalam keadaan terbuka penuh.

(8) Memancing

Pompa harus dipancing dengan mengisi penuh pompa dan pipa isap dengan zat cair.

(9) Pemanasan pendinginan awal

Untuk pompa bertemperatur tinggi (atau pompa bertemperatur rendah), zat cair dengan temperatur tinggi (atau rendah) harus secara berangsur-angsur dimasukkan ke dalam pompa untuk pemanasan (atau pendinginan) awal sebelum pompa dijalankan. Dalam hal ini, temperatur awal pompa tidak boleh berbeda lebih dari  $25^{\circ}\text{C}$  dengan temperatur kerjanya setelah pompa beroperasi normal. Jika pemanasan (pendinginan) awal ini kurang, pompa dapat macet atau bergesek pada celah-celah sempit antara bagian yang diam dan yang berputar.

(10) Pemeriksaan arah putaran

Pemeriksaan arah putaran biasanya dilakukan dengan terlebih dahulu melepas kopling atau sabuk yang menghubungkan pompa dan motor penggerak. Motor dihidupkan sendiri dan diperiksa putarannya. Namun untuk pompa-pompa kecil pemeriksaan putaran dapat dilakukan dengan menghidupkan pompa selama satu detik tanpa melepas koplingnya.

Pada pompa benam, untuk pemeriksaan putaran dapat digunakan kabel sementara. Katup keluar dibuka sedikit dan pompa dijalankan untuk waktu singkat dalam salah satu arah putaran dan manometer yang dipasang pada belokan dibaca. Kemudian terminal motor diubah untuk memutar pompa dalam arah yang berlawanan. Manometer dibaca dan dibandingkan dengan penunjukan pada arah putaran yang terdahulu. Tekanan yang lebih tinggi menunjukkan arah putaran yang benar.

(11) Penanganan katup keluar pada waktu start

Pada waktu start, katup sorong pada pipa keluar harus dalam keadaan terbuka penuh atau tertutup penuh, tergantung pada jenis pompa yang dipergunakan sebagai berikut.

1. Pompa sentrifugal: tertutup penuh.
2. Pompa aliran campur: biasanya tertutup penuh.
3. Pompa aliran aksial: terbuka penuh.
4. Pompa benam: katup keluar dibuka sedikit untuk mengeluarkan udara yang terperangkap di dalam pipa kolom.

Setelah pompa sentrifugal distart dengan cara di atas, katupnya lalu dibuka pelan-pelan dan penunjukan manometer diamati terus sampai menunjukkan tekanan normal sebagaimana dinyatakan dalam spesifikasi pompa. Operasi dalam keadaan katup tertutup tidak boleh berlangsung terlalu lama karena zat cair di dalam pompa akan menjadi panas sehingga dapat menimbulkan berbagai kesulitan. Dalam keadaan katup tertutup pompa tidak boleh dipanaskan lebih dari 5 menit.

## 7.2 Pemeriksaan Kondisi Operasi

Di bawah ini akan diuraikan berbagai hal yang perlu diperiksa serta cara penilaian kasar tentang kondisi pompa baik pada waktu uji coba, maupun pada waktu operasi.

(1) Pembacaan manometer dan ampermeter

- 1) Tekanan keluar dan tekanan isap harus sesuai atau mendekati harga yang telah ditentukan atau diperhitungkan sebelumnya serta tidak boleh berfluktuasi secara tidak

normal. Jika ada benda asing yang menyumbat atau ada udara yang tersesap, maka tekanan akan jatuh atau akan berfluktuasi secara tidak normal.

2) Arus listrik yang dikonsumsi harus lebih rendah dari pada yang dinyatakan pada label motor. Arus ini tidak berfluktuasi secara tidak normal. Jika ada benda asing atau pasir yang terselip pada celah-celah sempit antara impeler dan rumah pompa, arus listrik dapat berfluktuasi secara tak normal sebelum impeler mace:

(2) Temperatur dan kebocoran pada kotak paking

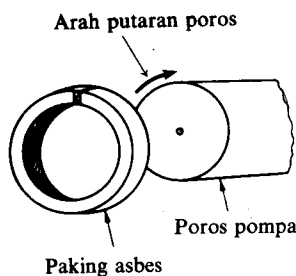
1) Kebocoran dari kotak paking (pada paking tekan) harus berupa tetesan-tetesan zat cair yang jumlahnya tidak lebih dari  $0,5 \text{ cm}^3/\text{s}$ . Jika jumlah tetesan lebih dari ini, penekan paking harus dikencangkan pelan-pelan dan merata (dengan mengencangkan kedua mur secara bergantian) sampai tetesan menjadi normal. Pengencangan yang berlebihan akan menyebabkan paking menjadi panas. Jika hal ini terjadi maka mur penekan harus dikendorkan dan sementara pompa berjalan mur penekan dikendorkan untuk membocorkan zat cair lebih banyak selama beberapa saat. Kemudian penekan paking dikencangkan kembali secara lebih baik. Adapun temperatur kotak paking yang masih diizinkan adalah tidak lebih dari  $30^\circ\text{C}$  di atas temperatur zat cair yang dipompa. Karena itu, untuk pompa air, kebocoran ini dalam jumlah sedikit justru diperlukan untuk pendinginan dan pelumasan paking. Untuk banyak zat cair tertentu, terutama yang berbahaya, kebocoran sama sekali tidak diperbolehkan.

Jika kebocoran tidak mengecil setelah penekan paking dikencangkan dan pompa dioperasikan beberapa jam, maka paking harus diganti dengan yang baru. Penggantian paking dilakukan dengan cara sebagai berikut.

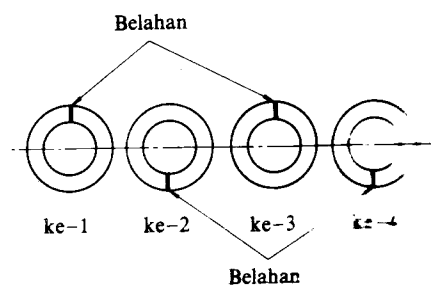
Sediakan paking dalam jumlah dan ukuran yang sesuai. Masing-masing potongan paking harus dapat melilit poros secara penuh tanpa celah pada belakangnya. Bila paking dipasang pada poros, arah anyamannya harus sesuai dengan arah putaran poros. (Lihat Gb. 7.1). Belahan dari paking-paking yang saling berdekatan harus disusun membentuk sudut  $180^\circ$  seperti diperlihatkan dalam Gb. 7.2. Masing-masing bagian paking dimasukkan satu persatu ke dalam kotak paking dan satu persatu dirapatkan. Setelah semuanya dimasukkan, penekan paking dipasang dan dikeraskan secukupnya. Jangan memasang belahan paking dalam satu garis karena akan mudah bocor.

2) Jika dipakai perapat mekanis, keadaan dipandang normal jika tidak ada kebocoran yang dapat dilihat dengan mata. Jika ada kebocoran pada saat dilakukan uji coba, operasi dapat diteruskan. Jika kebocoran berhenti setelah beberapa waktu, maka keadaan normal sudah dicapai.

(3) Pemeriksaan bantalan



Gb. 7.1 Arah pemasangan paking.



Gb. 7.2 Letak belahan pada susunan paking poros.



1) Jika bantalan yang digunakan memakai cara pelumasan cincin maka cincin ini harus dapat berputar secara normal.

2) Jika rumah bantalan dipegang dengan tangan, harus tidak terasa adanya panas yang berlebihan. Jika diukur dengan termometer, biasanya bantalan dianggap normal bila temperaturnya tidak lebih dari  $40^{\circ}\text{C}$  di atas temperatur udara di sekitarnya.

(4) Pemeriksaan getaran dan bunyi

1) Bila tangan diletakkan di atas permukaan rumah pompa harus tidak terasa adanya getaran yang berlebihan. Untuk pengukuran yang teliti, amplitudo getaran dapat diukur dengan vibrometer pada rumah bantalan dan pada motor. Dalam hal pompa tegak, pengukuran dilakukan pada titik tertinggi dari motor. Harga amplitudo yang diukur harus kurang dari  $30\text{ }\mu\text{m}$  ( $30/1000\text{ mm}$ ) pada 3000 rpm, dan kurang dari  $50\text{ }\mu\text{m}$  pada 1500 rpm.

2) Tidak boleh ada bunyi yang luar biasa karena kavitasi atau surjing maupun bunyi dari bantalan.

(5) Pemeriksaan cakram pengimbang

Bila cakram pengimbang dipakai pada pompa bertingkat banyak, tidak boleh ada pemanasan yang berlebihan pada ruang cakram pengimbang atau pada saluran air baliknya pada ujung poros terdapat tanda untuk memeriksa keausan cakram dari luar. Jika keausan sudah melebihi batas, bagian yang aus harus cepat diganti.

(6) Cara menangani instrumen

Beberapa alat ukur seperti manometer dan vakummeter selalu diperlengkapi dengan katup sumbat. Katup ini sering dibiarkan terbuka selama operasi sehingga meter akan terus-menerus mengukur tekanan. Namun hal yang demikian itu dapat menyebabkan meter menurun ketelitiannya atau rusak setelah jangka waktu pendek. Hal ini disebabkan oleh lonjakan tekanan yang dapat terjadi waktu pompa distart, dimatikan, atau karena fluktuasi tekanan lain pada waktu operasi. Karena itu katup ini sebaiknya selalu dalam keadaan tertutup kecuali bila sedang dilakukan pemeriksaan.

## 7.3 Pengamanan Untuk Penghentian Pompa

Untuk penghentian pompa secara manual perlu diperhatikan langkah-langkah pengamanan sebagai berikut.

- 1) Pompa sentrifugal dapat dimatikan setelah katup keluar ditutup rapat. Jangan ~~sebelum~~ menutup katup pada sisi isap sebelum motor dimatikan.
- 2) ~~Dalam hal~~ pompa dipancing dengan pompa vakum, bukalah katup pembocor udara (~~vacuum breaker~~) setelah pompa dihentikan. Dengan dibukanya katup ini air di ~~dalam pipa isap~~ akan kembali masuk ke tadah isap sehingga di dalam pompa tidak terjadi tekanan negatif.
- 3) Bila ~~pompa menggunakan~~ air pendingin, tutuplah katup air pendingin setelah pompa ~~dihentikan~~.
- 4) Zat cair ~~perapat~~ pada kotak packing harus dibiarkan selama ada zat cair di dalam pompa.
- 5) Jika pompa berhenti karena listrik padam pada waktu beroperasi, tombol listrik harus dibuka (~~dimatikan~~) dan pada saat yang bersamaan, katup keluar ditutup. Namun pada pompa aksial, katup pembocor udara harus dibuka sebelum katup keluar ditutup.

## 7.4 Penanganan Pompa Cadangan

1) Pompa cadangan (standby pump) harus dipersiapkan untuk dapat segera beroperasi saat. Minyak pelumas atau air pelumas, air pendingin bantalan, dan air pembersihan untuk kotak paking, harus siap dialirkan bila diperlukan.

2) Pompa cadangan harus dioperasikan secara periodik. Jika tidak pernah dijalankan, bagian dalam pompa dapat berkarat sehingga tidak dapat berputar. Dalam hal ini pompa perlu dijalankan sedikitnya sekali sebulan atau sekali seminggu selama kurang lebih 10 menit dan diperiksa apakah semuanya dalam keadaan normal. Pemeriksaan semacam ini tidak hanya berlaku untuk pompa cadangan saja, tetapi juga untuk pompa darurat seperti pompa pemadam kebakaran.

Jika pompa dioperasikan secara otomatis, pompa cadangan sebaiknya direncanakan seperti pompa biasa yang dioperasikan secara bergantian dari pada dibiarkan berhenti untuk jangka waktu lama. Hal ini juga lebih baik ditinjau dari segi keamanan operasi.

## 7.5 Penanganan Pompa Yang Tak Dipakai Dalam Jangka Waktu Lama

- 1) Jika pompa tidak akan dioperasikan dalam jangka waktu lama, zat cair di dalam pompa harus dibuang dan pompa dikeringkan.
- 2) Permukaan-permukaan yang difinis pada bantalan, poros, penekan paking, dan kopling, harus dilumuri minyak atau zat pencegah karat untuk menahan korosi.

## 7.6 Pengelolaan

Dalam uraian ini akan dibahas segi pengelolaan operasi maupun pemeliharaan pompa. Di sini akan dikemukakan segi teknisnya saja di samping sedikit segi administratif.

### 7.6.1 Kartu kendali

Bila operasi normal pompa sudah dimulai, perlu disediakan kartu pemeriksaan untuk setiap pompa. Pemeriksaan dilakukan secara periodik sesuai dengan ketentuan yang tercantum di dalam kartu ini.

Setiap kartu kendali harus berisi catatan mengenai spesifikasi pompa, nama pabrikan, hasil pemeriksaan pada masa uji coba, serta pemeriksaan periodik yang dilakukan selanjutnya. Contoh kartu ini diberikan dalam Tabel 7.1.

### 7.6.2 Butir dan jangka waktu pemeriksaan

Butir atau bagian yang perlu diperiksa beserta jangka waktunya perlu ditentukan lebih dahulu. Ketentuan ini selanjutnya dipakai sebagai dasar untuk melaksanakan pemeriksaan rutin. Atas dasar petunjuk ini kondisi mesin pada saat pemeriksaan dibandingkan dengan harga-harga standar yang diperoleh dari pemeriksaan-pemeriksaan sebelumnya.

Adapun frekuensi pemeriksaan adalah seperti diuraikan berikut ini.

- (1) Pemeriksaan harian

Hal-hal yang perlu diperiksa setiap hari adalah sebagai berikut.

Tabel 7.1 Kartu kendali.

(Halaman depan)

Pompa		Motor			
Jenis type		Jenis/type		Tgl. pembuatan	
Diameter keluar		Daya		Nomor pabrik	
Jumlah tingkat		Tegangan (V)		Pabrik	
Kapasitas		Arus (A)			
Head total		Putaran			
Putaran		Jumlah kutub			
Tgl. pembuatan		Frekuensi (Hz)			
Nomor pabrik		Rating			
Pabrik		Kelas isolasi			

(Halaman belakang)

Tanggal	Uraian	Jumlah	Dikerjakan oleh

1. Temperatur permukaan rumah bantalan dan rumah pompa: Dapat dirasakan dengan tangan.
2. Tekanan isap dan tekanan keluar: Penunjukan manometer dan vakummeter harus dibaca.
3. Kebocoran dari kotak paking: Diamati secara visual.
4. Arus listrik: Dibaca pada ampermeter.
5. Jumlah minyak pelumas di dalam rumah bantalan dan perputaran cincin minyak: Dirasakan dengan tangan, dilihat, dan didengarkan.

(2) **Pemeriksaan bulanan**

Setiap bulan terdapat suatu pada motor pompa besar harus diperiksa. Besarnya tahanan tidak boleh kurang dari 1 MΩ.

(3) **Pemeriksaan tiga bulanan**

Setiap tiga bulan diadakan pemeriksaan atau penggantian berikut.

- 1) Penggantian minyak di dalam rumah bantalan
- 2) Pemeriksaan gemuk: Gemuk harus diganti jika memburuk.
- (4) **Pemeriksaan enam bulanan**  
Setiap enam bulan diadakan pemeriksaan berikut.
  - 1) Pemeriksaan paking tekan dan selubung poros: Jika pada selubung poros terlihat

- Meskipun jangka waktu pemeriksaan dapat bervariasi tergantung pada jenis zat cair yang dipompa, laju aliran, tingkat kepentingan pompa, dll., namun dapat dianjurkan untuk mengadakan pemeriksaan menyeluruh (overhaul) yang pertama dalam jangka satu tahun setelah pompa mulai dipergunakan. Adapun jangka waktu pemeriksaan periodik selanjutnya dapat ditetapkan berdasarkan hasil pemeriksaan menyeluruh yang pertama.

Jika keadaan operasi tiap hari diamati dan dicatat, setiap keadaan yang tidak normal mudah ditemukan sehingga dapat segera diatasi. Juga setelah pompa beroperasi untuk jangka waktu lama, jika tidak ada perbedaan dibandingkan dengan keadaan pada awal operasinya, maka dapat disimpulkan bahwa keausan di dalam pompa sangat kecil. Dengan demikian overhaul tidak perlu dilakukan.

**Tabel 7.2 Log operasi pompa.**

[illegible]

#### 7.6.4 Penyediaan suku cadang

Macam dan jumlah suku cadang yang diperlukan untuk pemeliharaan tergantung pada jenis pompa, jenis zat cair yang dipompa, keadaan operasi, dan derajat kepentingan pompa. Namun pada umumnya suku cadang yang perlu disediakan dapat diuraikan seperti berikut ini.

- (1) ~~Bagian yang~~ perlu diganti pada setiap overhaul.
  - 1) ~~Paking karet~~ Paking dari tali kapas dengan grafit yang banyak tersedia di pasaran ~~kecil-kecilan~~ tidak dipandang sebagai suku cadang yang perlu ada dalam ~~simpanan~~ ~~selama~~ mudah didapat. Namun paking dari bahan setengah logam yang ~~besar~~ ~~baru~~ tersedia sebagai suku cadang dalam simpanan.
  - 2) ~~Paking~~ karet bulat dan paking gasket.
  - 3) ~~Minyak~~ pelumas. Meskipun minyak bukan suku cadang namun perlu ada persediaan ~~minyak~~ ~~lumas~~ dan gemuk sesuai dengan yang dianjurkan oleh pabrikan pompa. ~~Juga~~ ~~si~~ minyak perlu disediakan sebagai suku cadang.
  - 2) ~~Bagian~~ yang harus segera diganti setiap ada kebocoran  
 Perapat mekanis yang bocor harus segera diganti. Karena itu perapat mekanis harus ~~selalu~~ ~~tersedia~~ sebagai suku cadang lengkap dengan gasket yang diperlukan.
  - 3) ~~Bagian-bagian~~ yang harus diganti karena aus
    - 1) Selubung poros. Selubung poros yang melindungi poros terhadap gesekan dengan paking di dalam rumah paking, sangat mudah aus. Jika keausan yang terjadi melebihi 2 mm pada keliling luarnya, selubung harus diganti.
    - 2) Cincin perapat dan bus. Berbagai cincin perapat (wearing ring) dan bus dengan celah sempit banyak dipakai di dalam pompa. Jika bus ini aus, celah menjadi besar dan kebocoran di dalam pompa akan membesar pula. Hal ini akan menurunkan performansi pompa. Jika selisih diameter cincin perapat atau bus yang membentuk celah tersebut sudah lebih dari 1 mm, cincin atau bus harus diganti untuk memulihkan performansi pompa.
    - 3) ~~Cakram~~ pengimbang dan dudukan. Karena keausan pada bagian ini dapat diukur dari pergeseran tanda pada ujung poros maka suku cadang penggantinya dapat dipersiapkan sebelum overhaul dilakukan, sekiranya keausan yang ada melebihi ~~kelebihan~~ ~~pabrikan~~.
    - 4) Impeler dan pasak. Jika celah pada cincin perapat membesar menjadi lebih dari 0,5 mm karena aus, atau jika ujung sudu banyak termakan kavitasi, maka impeler ~~lebih~~ ~~baik~~ diganti. Juga jika pada alur pasak ditemukan retakan, atau jika diameter ~~dalam~~ ~~alur~~ ~~pasak~~ sudah membesar karena korosi, impeler sebaiknya diganti ~~baru~~. Pasak impeler harus disediakan sebagai suku cadang juga sebab pasak ini sering menjadi sangat tipis karena korosi.
    - 5) Poros. Karena efek galvanik, bagian poros yang bersinggungan dengan naf (hub) impeler dapat menjadi kasar dan mengecil karena berkarat.
  - (4) ~~Bagian-bagian~~ yang harus diganti jika terjadi bunyi dan getaran yang tidak normal.
    - 1) Bantalan bola dan bantalan rol serta bus bantalan.
    - 2) Kopling flens luwes. Jika bus karet sudah aus sehingga celah menjadi sangat besar, atau jika baut bengkok, maka bus karet dan baut harus diganti.

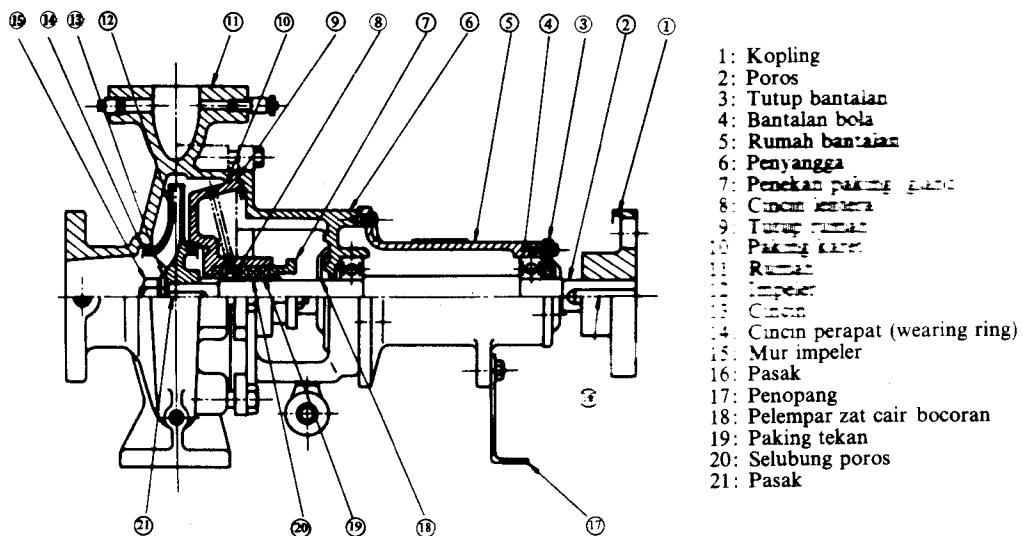
## 7.7 Overhaul

Tata cara pembongkaran dan perakitan kembali pompa tidak sama antara yang satu dengan yang lain karena tergantung pada jenis dan konstruksinya. Namun pekerjaan dasar pada pembongkaran dan perakitan kembali berbagai pompa mempunyai kesamaan tertentu. Di sini akan diuraikan urutan pekerjaan bongkar-pasang pada overhaul pompa sentrifugal isapan ujung dan pompa sentrifugal berlingkar banyak.

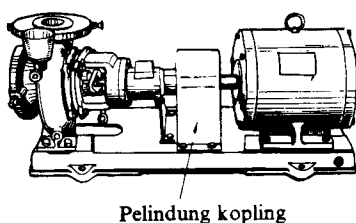
### 7.7.1 Pompa sentrifugal isapan ujung (Lihat Gb. 7.3 dan 7.4)

Pekerjaan pemeriksaan menyeluruh untuk pompa jenis ini ~~caranya dilakukan~~ dalam urutan berikut ini.

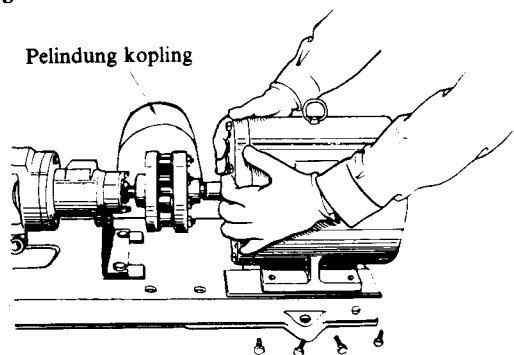
- (1) Persiapan pembongkaran
  - 1) Tutup katup-katup sorong
  - 2) Keluarkan air dari pompa
  - 3) Lepaskan motor, dengan terlebih dahulu melepas pelindung kopling. ~~Tanda mundur~~



Gb. 7.3 Pompa sentrifugal dengan isapan ujung.



Gb. 7.4 Pompa sentrifugal dengan isapan ujung.



Gb. 7.5 Melepas motor dari pompa.

motor dan tinggalkan baut kopling di tempatnya. Lepaskan baut kopling dengan menariknya. (Lihat Gb. 7.5).

(2) Pembongkaran pompa (Lihat Gb. 7.3)

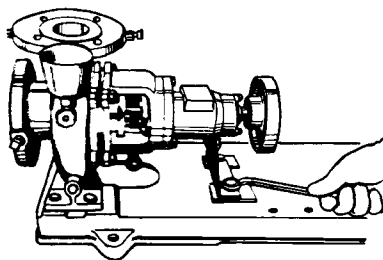
(a) Melepas penyangga ⑥ dan tutup rumah ⑨ dari rumah ⑪

Dalam hal pompa dengan konstruksi tarik-mundur seperti pada Gb. 7.3, jika diperlukan untuk mengeluarkan bagian yang berputar saja, maka pipa isap, pipa keluar, dan rumah ⑪ tidak perlu dibongkar dari tempatnya. Namun jika cincin perapat ⑭ akan diganti, maka sebaiknya rumah dibongkar sebelum dikerjakan.

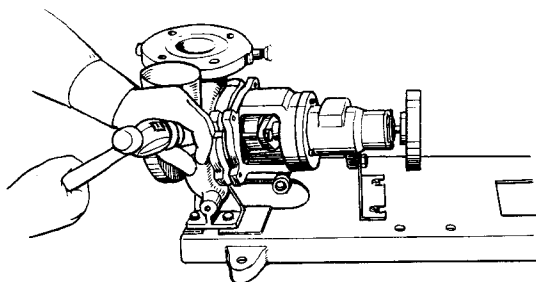
Adapun urutan pembongkaran pompa ini adalah sebagai berikut. Mula-mula buka baut penyangga atau penopang ⑰ seperti diperlihatkan dalam Gb. 7.6. Meskipun baut untuk tutup rumah ⑨ telah dilepas, tutup ini sering tidak mudah dilepas karena sambungannya berkarat. Jika pada flens tutup ini disediakan dua buah lubang berulir untuk menarik keluar flens, maka pada lubang-lubang ini dapat disekrupkan baut yang sesuai secara bersama-sama sampai tutup tercabut dari rumah pompa. Jika lubang berulir tersebut tidak ada, masukkan obeng atau baji di celah antara rumah dan flens tutup seperti diperlihatkan dalam Gb. 7.7. Jika celah mulai melebar, tutup dapat dicongkel dengan dua buah obeng secara serentak pada tempat yang berseberangan, sampai tutup terlepas. Jika sambungan telah terlepas, tarik tutup ini searah sumbu poros. (Lihat Gb. 7.8). Goresan dan luka yang ditimbulkan pada permukaan flens harus segera dikikir halus secukupnya tanpa merusak kerataan permukaan flens.

(b) Melepas impeler

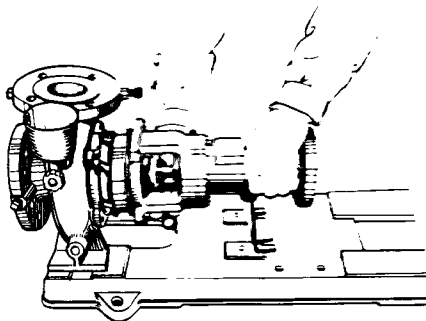
Impeler ⑫ dapat dilepas setelah mur ⑮ dan cincin ⑬ dibuka. Namun impeler tidak



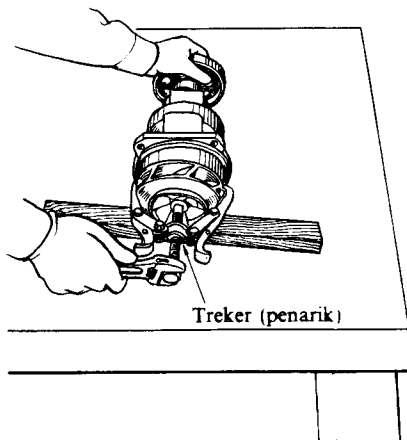
Gb. 7.6 Melepas penopang dan baut-baut.



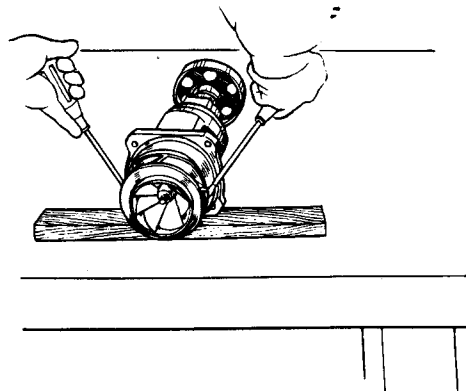
Gb. 7.7 Melepas tutup rumah.



Gb. 7.8 Melepas tutup rumah.



Gb. 7.9 Melepas impeler.



Gb. 7.10 Melepas impeler.

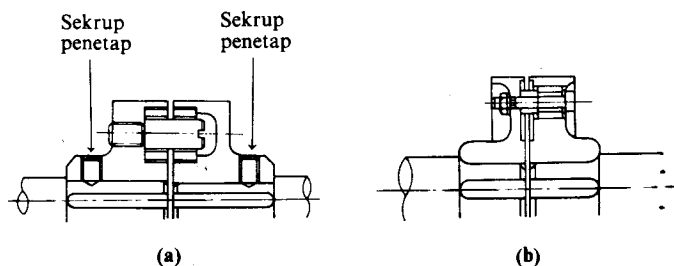
selalu mudah dicabut setelah pompa dipakai bertahun-tahun. Jika demikian, maka harus digunakan alat penarik atau treker. (Lihat Gb. 7.9). Dapat juga ujung poros dekat impeler dipukul dengan hati-hati (tanpa merusak ujungnya) dan impeler dicongkel dengan dua buah obeng pada celah antara impeler dan tutup rumah ⑨, seperti ditunjukkan dalam Gb. 7.10. Pekerjaan ini harus dilakukan tanpa menggunakan gaya yang berlebihan sehingga poros menjadi bengkok dan bantalan bola ④ menjadi rusak. Setelah impeler dilepas, keluarkan pasak ⑫. Jika alur pasak tergores atau mengembang pinggirnya, haluskan dengan kikir agar selubung ⑭ dapat dikeluarkan.

(c) Melepas selubung poros

Selubung poros ⑭ yang melindungi poros terhadap gesekan dengan paking tekan ⑨ dicabut hanya jika benar-benar perlu diganti. Selubung ini tidak dapat berputar terhadap poros karena ditahan oleh pasak impeler ⑫ dan mudah dikeluarkan. Tetapi selubung poros yang dipasang dengan sambungan kerut pada poros harus lebih dahulu dipanaskan sebelum dapat dicabut. Perlu diketahui bahwa karena selubung biasanya terbuat dari perunggu yang mempunyai koefisien muai lebih besar dari pada baja, maka jika dipanaskan akan mudah dilepas. Pemanasan tidak akan efektif jika selubung terbuat dari baja tahan karat atau sejenisnya. Dalam hal demikian selubung hanya dapat dilepas dengan jalan membelahnya dengan gerinda, tanpa merusak permukaan poros.

(d) Melepas kopling ①

Ada dua macam kopling: kopling untuk daya kecil dan untuk daya sedang dan besar seperti diperlihatkan dalam Gb. 7.11. Kopling untuk daya kecil (Gb. 7.11a) mempunyai



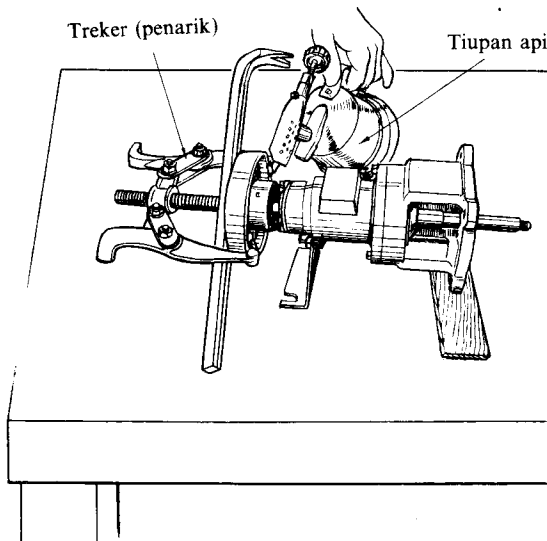
Gb. 7.11 Kopling.



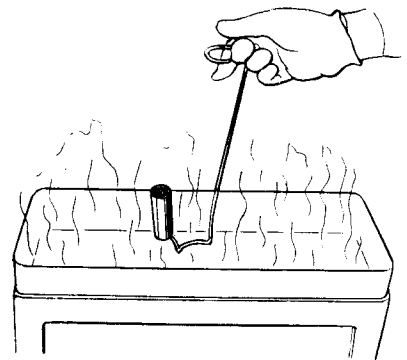
sambungan longgar dengan poros di mana gerakan aksial terhadap poros dicegah dengan sekrup penetak. Kopling ini dapat dilepas dari porosnya dengan terlebih dahulu mengendorkan sekrup penetak, kemudian memukul keluar secara merata dengan palu kayu atau palu plastik. Kopling untuk daya sedang dan besar (Gb. 7.11b) disambungkan pada poros dengan sambungan kerut. Untuk melepas kopling ini tidak mudah. Untuk itu keliling luar naf (hub) kopling harus dipanaskan dengan nyala api dari pembakar dan dicabut dengan penarik seperti diperlihatkan dalam Gb. 7.12. Sebelum memanaskan, baut kopling harus dikeluarkan agar bus karet tidak rusak kena panas. Bantalan bola ④ hendaknya dijaga agar tidak terkena panas secara berlebihan.

(e) Melepas bantalan bola ④

Bantalan bola dilepas hanya jika perlu diganti dengan yang baru. Untuk mencabut bantalan bola dapat digunakan penarik yang dikaitkan pada cincin luar bantalan. Bila akan dipakai cara pemanasan, cincin dalam bantalan dipanasi dalam waktu singkat dan langsung dipukul keluar poros pada cincin dalamnya, tanpa merusak poros.



Gb. 7.12 Melepas kopling.



Gb. 7.13 Pemanasan selubung poros.

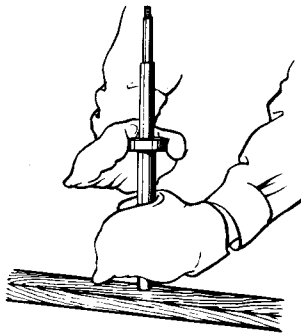
(3) Perakitan

(a) Memasang selubung poros ②

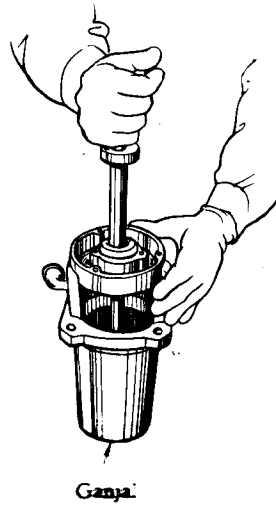
Sebelum selubung dipasang, poros ② harus diampelas halus. Untuk memasang secara kerut, sediakan minyak dalam wadah lalu panaskan hingga mencapai temperatur  $140^{\circ}\text{C}$  sampai  $160^{\circ}\text{C}$ . Celupkan selubung ke dalam minyak selama 6 sampai 8 menit agar memuai (lihat Gb. 7.13). Setelah itu keluarkan dari minyak dan segera pasangkan pada poros di tempat yang telah ditentukan.

(b) Memasang bantalan bola ④

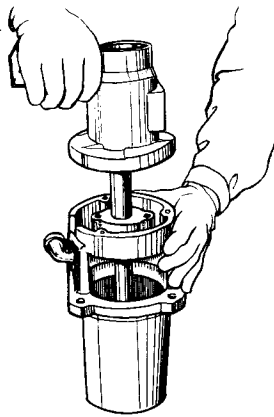
Untuk memasang bantalan bola pada poros dengan cara kerut, sediakan minyak yang dipanaskan hingga  $160^{\circ}\text{C}$  sampai  $180^{\circ}\text{C}$ . Bantalan direndam di dalam minyak selama 10 menit lalu pasangkan pada poros (lihat Gb. 7.14). Jika bantalan bola yang dipakai adalah dari jenis yang berpelumas gemuk dan tertutup maka pemasangannya



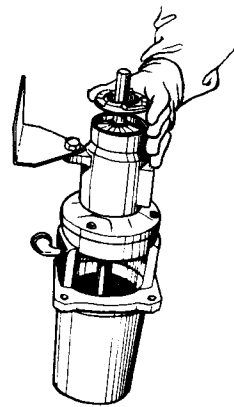
Gb. 7.14 Memasang bantalan bola secara kerut.



Gb. 7.15 Memasang poros pada penyangga.



Gb. 7.16 Memasang poros pada rumah bantalan.

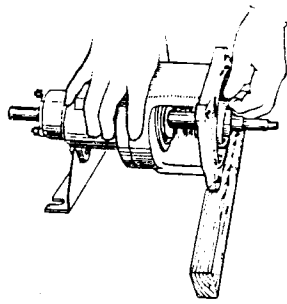


Gb. 7.17 Memasang tutup bantalan.

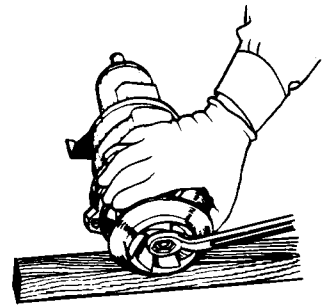
pada poros tidak boleh dilakukan dengan pemanasan. Untuk ini bantalan harus dipaksa masuk pada poros dengan alat pres hidrolik.

Bantalan bola yang telah dipasang pada poros secara kerut harus terlebih dahulu dicuci dengan minyak pencuci. Jika bantalan menggunakan pelumasan gemuk, berikan gemuk pada kedua sisi bantalan. Selanjutnya bantalan yang sudah terpasang pada poros ini dimasukkan ke rumah bantalan. (Lihat Gb. 7.15 sampai 7.17). Dalam hal ini perlu dipakai penyangga untuk mencegah poros dari goresan. Ruang di dalam rumah bantalan tidak boleh diisi gemuk, sebab apabila bantalan berputar akan terjadi pengadukan sehingga gemuk menjadi panas dan lumer. Gemuk juga tidak boleh dioleskan dengan tangan yang kotor. Kotoran berupa pasir walaupun sedikit di dalam gemuk akan menimbulkan goresan pada poros dan keausan yang cepat pada bantalan disertai bunyi yang tak normal.

Sebelum impeler ⑫ dipasang, pasangkan pelempar ⑬ di tempat yang telah ditentukan pada poros ② dan pasangkan pula penekan paking ⑦. (Lihat Gb. 7.18).



Gb. 7.18 Memasang penekan paking pada poros.



Gb. 7.19 Memasang impeler.

## (c) Memasang impeler ⑫

Sebelum impeler dipasang, periksalah terlebih dahulu ukuran impeler dan alur pasaknya, untuk meyakinkan bahwa pasak benar-benar pas dan tidak goyang. Jika alur pasak melebar ke arah ujungnya atau pasak terlalu tipis, maka akan dapat mengakibatkan kerusakan. Jika demikian, bukan hanya pasak tetapi poros juga harus diganti baru.

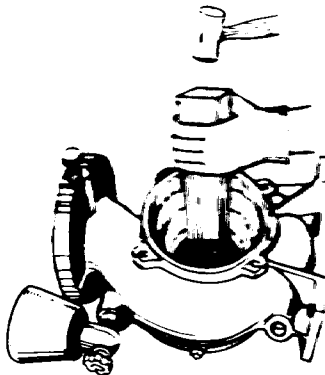
Cincin ⑬ harus selalu dipakai untuk menjamin mur impeler agar tetap kencang. (Lihat Gb. 7.19).

## (d) Memasang cincin perapat

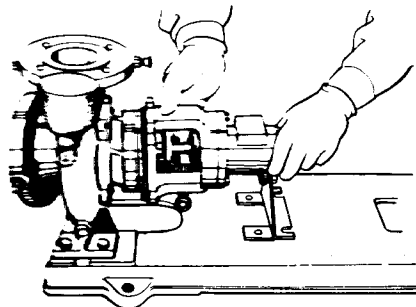
Untuk dapat memasang cincin perapat ⑭ rumah pompa harus dilepas dari landasan terlebih dahulu. Cincin perapat ini biasanya tipis sehingga untuk memasangnya cincin harus dimasukkan secara merata dan lurus. Untuk ini cincin dipukul dengan perantara bantalan papan kayu persegi. (Lihat Gb. 7.20). Setelah terpasang, haluskan bibir dan permukaan cincin dan pasang kembali rumah pada landasan.

## (e) Memasang pada rumah ⑪

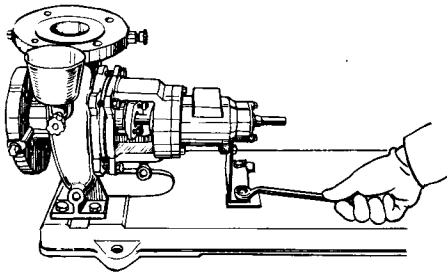
Sebelum memasang, cuci bersih permukaan-permukaan yang akan saling menempel dan haluskan dari kekasaran bekas terkena goresan dan pukulan, lalu kerjakan pemasangan dengan lebih dahulu memasang paking karet ⑩ pada tempatnya. Untuk ini gunakan paking baru dan jangan menggunakan kembali paking bekas. (Lihat Gb. 7.21). Paking bekas sudah berubah bentuknya sehingga tidak dapat menjamin kerapatan.



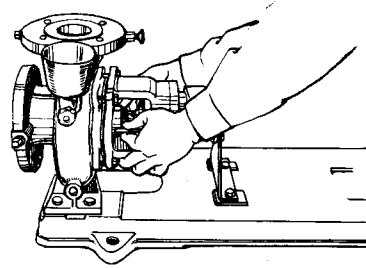
Gb. 7.20 Memasang cincin perapat.



Gb. 7.21 Memasang penyangga pada rumah.



Gb. 7.22 Memasang penopang.



Gb. 7.23 Memasukkan paking tekan.

## (f) Memasang penopang

Untuk memasang penopang pada landasan, perhatikan Gb. 7.22.

## (g) Memasang paking tekan dan penekan paking

Masukkan paking baru di kotak paking dalam jumlah yang diperlukan dan pasang penekan paking dengan tekanan ringan serta merata, sehingga poros dapat diputar dengan tangan. (Lihat Gb. 7.23).

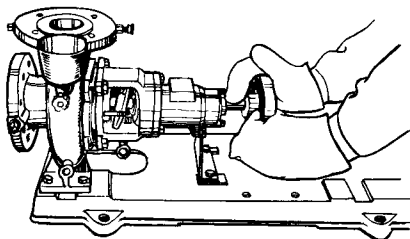
## (h) Memasang kopling ①

Haluskan bekas-bekas pukulan dan goresan pada tepi-tepi alur pasak dan ujung poros di mana kopling akan dipasang. Kemudian pasang kopling pada poros dengan memanaskannya terlebih dahulu di dalam minyak. (Lihat Gb. 7.24). Segera setelah kopling masuk ke poros pada kedudukan yang tepat, dinginkan dengan air. Jika tidak didinginkan dengan air, debu karet atau gemuk cair dapat masuk dan mengurangi kekuatan sambungan kerut.

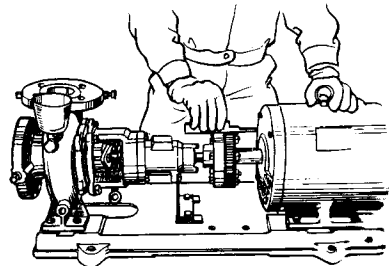
## (i) Meluruskan poros dan pipa

Pelurusan poros pompa dan motor dilakukan seperti diuraikan dalam butir 6.1.4. (Lihat Gb. 7.25). Setelah poros diluruskan, pen tetap (dowel) dipasang pada kaki dan landasan pompa dan motor. Akhirnya pasang pelindung kopling. (Lihat Gb. 7.26).

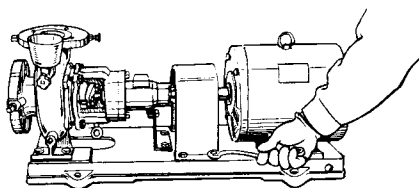
Jika rumah pompa juga dibongkar maka pipa keluar dan pipa isap harus disambungkan pada flens pompa dengan diberi paking setelah pompa diluruskan. Dalam hal ini penyambungan pipa tidak boleh dilakukan dengan paksa sebab akan mengganggu kelurusan poros dan menimbulkan tegangan yang berlebihan pada flens pompa. Jika



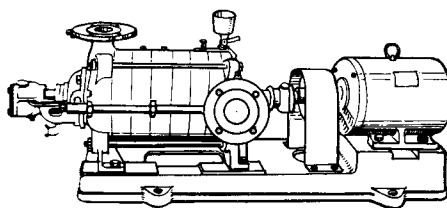
Gb. 7.24 Memasang kopling secara kerut.



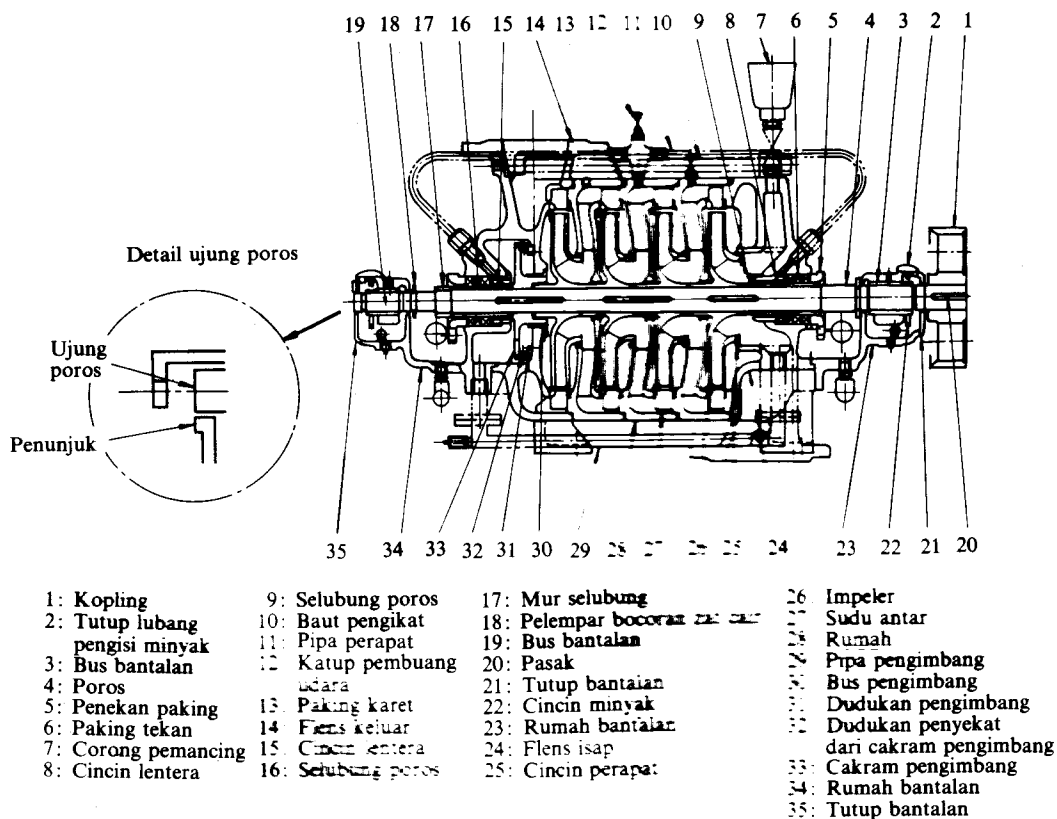
Gb. 7.25 Meluruskan sumbu poros (centering).



Gb. 7.26 Memasang pelindung kopling.



Gb. 7.28 Pompa sentrifugal bertingkat banyak.



Gb. 7.27 Pompa sentrifugal bertingkat banyak.

hal ini diduga akan terjadi maka dapat digunakan sambungan pipa luwes di tengah pipa seperti diuraikan dalam butir 6.4.3.

### 7.7.2 Pompa sentrifugal bertingkat banyak (Lihat Gb. 7.27 dan 7.28)

Pembongkaran dan perakitan kembali pompa sentrifugal bertingkat banyak pada dasarnya sama seperti pada pompa sentrifugal isapan ujung. Karena itu urutan pembongkaran dan perakitannya akan diuraikan di sini dengan meniadakan beberapa detail dari butir 7.7.1 dan menambahkan beberapa hal khusus mengenai pompa bertingkat banyak, seperti berikut ini.

- (1) Persiapan pembongkaran
  - (a) Tutup rapat katup sorong
  - (b) Keluarkan air dari pompa
  - (c) Ukur keausan pada cakram pengimbang (untuk pompa dengan rumah pengimbang).

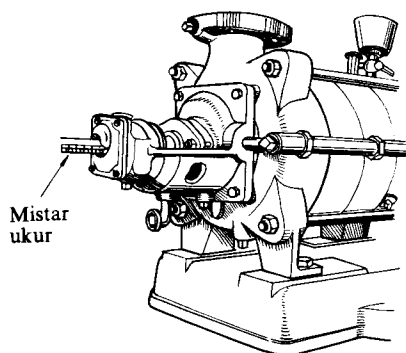
Seperti ditunjukkan secara detail pada ujung poros dalam Gb. 7.27, beberapa pompa mempunyai penunjuk yang dipaskan letaknya pada ujung poros pada waktu pompa dirakit. Jika terjadi keausan pada kedudukan penyekat ③ dan/atau kedudukan pengimbang ④ maka ujung poros akan bergeser mundur sebanyak keausan tersebut. Jarak pergeseran ini harus diukur sebelum pompa dibongkar dan dipakai sebagai pegangan pada waktu perbaikan. (Lihat Gb. 7.29).

Jika pompa memakai bantalan bola atau torak pengimbang, pengukuran ini tidak perlu.

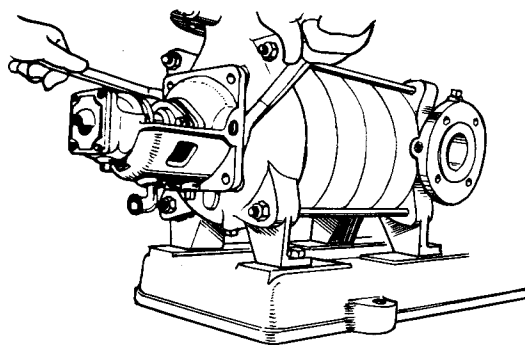
- (d) Berikan tanda pada posisi mur ⑤ pengencang selubung poros.

Tanda ini diterakan di poros yaitu pada batas ujung mur ⑤ pengencang selubung poros sebelum mur ini dilepas. Hal ini perlu untuk dapat menempatkan impeler pada posisi yang tepat di masing-masing tingkat setelah mur selubung dikencangkan pada waktu perakitan kembali.

- (e) Lepas motor
- (f) Lepas pompa dari pipa keluar
- (g) Lepas pipa-pipa pembantu seperti pipa pengimbang dan pipa perapat



Gb. 7.29 Mengukur pergeseran poros.



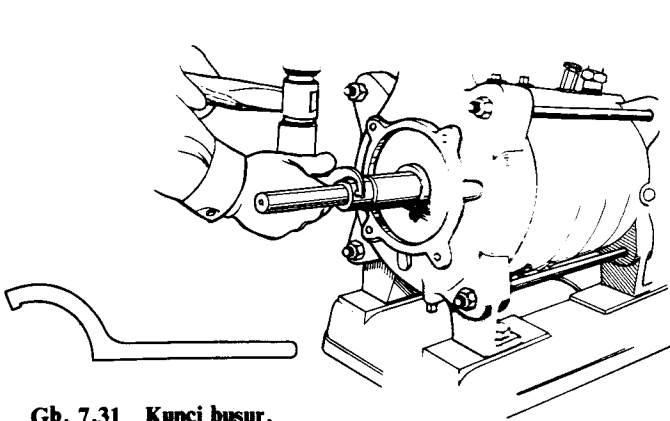
Gb. 7.30 Melepas rumah bantalan.

## (2) Pembongkaran pompa

- (a) Melepas rumah bantalan pada ujung pompa

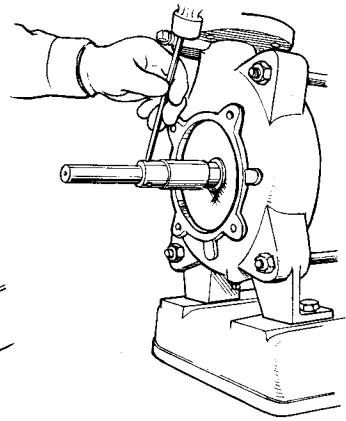
Rumah bantalan ⑥ biasanya dipasang pada badan pompa dengan sambungan pengepas yang dangkal. Rumah ini dapat dilepas dengan memukulnya di bagian atas dan bawah secara bergantian dengan palu kayu ke arah keluar. Maka sebuah celah akan terbuka pada flens rumah bantalan tersebut. Melalui celah ini rumah bantalan dicongkel dengan obeng pada tempat yang berseberangan sampai terlepas. (Lihat Gb. 7.30).

Untuk pompa dengan konstruksi seperti pada Gb. 7.27 di mana rumah bantalan



Gb. 7.31 Kunci busur.

Gb. 7.32 Melepas mur selubung poros.



Gb. 7.33 Melepas mur selubung poros.

dan ruang pengimbang disatukan, terdapat paking karet bulat antara permukaan-permukaan yang disambungkan. Dalam hal ini pekerjaan harus dilakukan dengan hati-hati agar paking ini tidak putus.

Setelah rumah bantalan dikeluarkan, bagian permukaan yang terluka atau kasar harus segera dihaluskan kembali.

(b) Melepas mur selubung ⑦

Untuk melepas mur ini sebaiknya digunakan kunci busur (Gb. 7.31) dengan cara seperti diperlihatkan dalam Gb. 7.32. Jika kunci ini tidak ada, mur dapat dilepas dengan kunci pipa atau dengan memukul lubang pada keliling mur dengan perantara ujung batang baja bulat berdiameter 8 sampai 10 mm. (Lihat Gb. 7.33). Setelah mur terbuka, goresan atau cacat pada keliling mur harus diperbaiki sebelum dipasang kembali. Selain itu perlu ditandai perbedaan antara sisi depan dan sisi belakang mur agar pada waktu pemasangan kembali nantinya tidak terbalik. Hal serupa juga berlaku untuk bagian-bagian yang lain seperti selubung-selubung yang dipasang berurutan di sepanjang poros di mana ketegak lursan dan kesejajaran ujung-ujungnya sangat penting. Jika letak pemasangannya terbalik dapat membuat poros menjadi bengkok setelah perakitan kembali.

(c) Melepas selubung poros ⑧

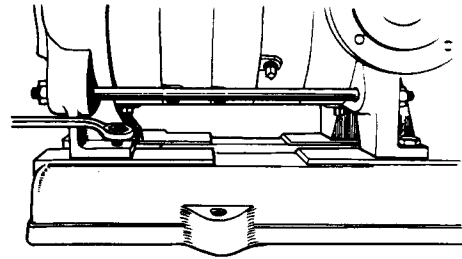
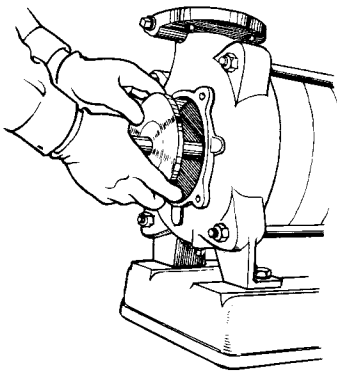
Selubung poros dapat dilepas dengan memukul keliling luarnya dengan palu kayu dan secara paksa ditarik dengan tangan.

(d) Melepas cakram pengimbang ⑨

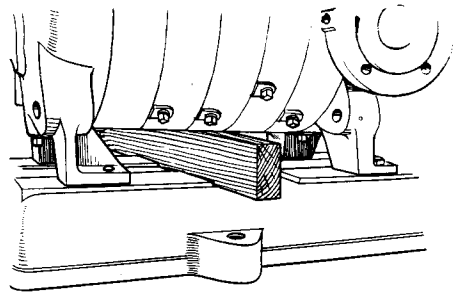
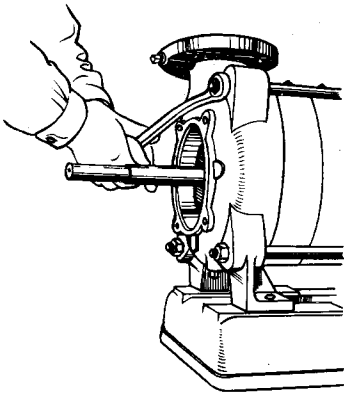
Jika pada cakram ini disediakan lubang berulir di dekat pusatnya, maka cakram dapat ditarik dengan memasukkan baut yang sesuai dengan lubang berulir tersebut. Setelah cakram lepas, dapat dikeluarkan dengan tangan seperti diperlihatkan dalam Gb. 7.34.

(e) Melepas baut pengikat ⑩

Baut pengikat rumah pompa pada landasan terlebih dahulu dilepas seperti pada Gb. 7.35. Kemudian baut pengikat ⑩ dari rumah bertingkat dilepas dengan meng-



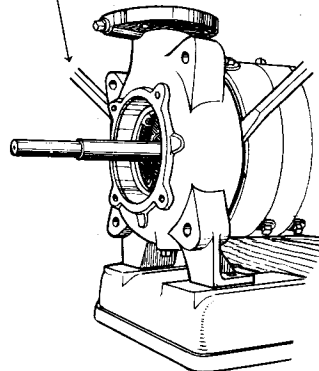
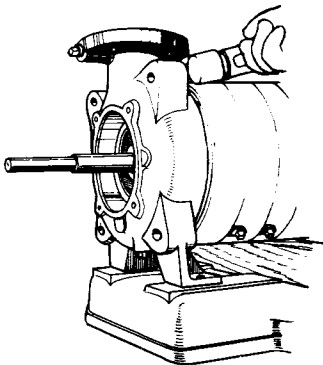
Gb. 7.34 Mengeluarkan cakram pengimbang. Gb. 7.35 Melepas baut dari rumah ujung keluar.



Gb. 7.37 Meletakkan balok kayu persegi di bawah rumah bagian tengah (bagian bertingkat).

Gb. 7.36 Melepas baut pengikat.

Dicongel pada dua sisi yang berlawanan secara serentak



Gb. 7.38 Melepas rumah ujung keluar.

Gb. 7.39 Melepas rumah ujung keluar.



dorkan secara bergantian pada lokasi yang berseberangan dan dengan pengendoran secara seragam. (Lihat Gb. 7.36).

(f) Membongkar rumah sisi keluar ⑭

Sebelum rumah sisi keluar dilepas, terlebih dahulu badan pompa diganjal dengan balok persegi di tengah seperti diperlihatkan dalam Gb. 7.37 agar rumah bertingkat tidak runtuh. Setelah itu pukul dudukan baut pengikat pada rumah sisi keluar dengan palu kayu. Maka sambungan antara rumah sisi keluar dengan rumah tingkat berikutnya akan renggang dan membentuk celah. (Lihat Gb. 7.38). Kemudian congkel celah ini secara beraturan dan merata seperti diperlihatkan dalam Gb. 7.39 sampai sambungan terlepas. Pekerjaan ini harus dilakukan dengan hati-hati agar paking karet bulat yang ada tidak menjadi putus.

g Melepas sudu antar ⑮

Sebelum dipandang perlu untuk melepas sudu-sudu antar, gunakan obeng untuk memcongkel celah antara sudu-sudu antar dan dinding rumah tingkat ⑯. Kemudian sudu-sudu antar dapat dikeluarkan. Dalam hal ini pencongkelan dilakukan pada dua lokasi sudu antar yang berseberangan.

h Melepas impeler ⑰

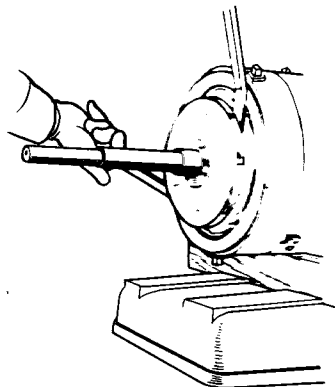
Impeler pompa bertingkat banyak biasanya dipasang pada poros dengan suaian sekrup sehingga dapat ditarik secara paksa dengan tangan. Jika impeler tidak mudah ditarik maka dapat dicongkel dengan hati-hati agar tidak luka atau rusak. (Lihat Gb. 7.40).

i Mengeluarkan pasak ⑱

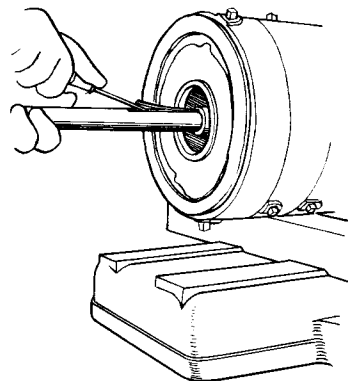
Congkel ujung pasak dengan obeng agar terlepas dari poros seperti ditunjukkan dalam Gb. 7.41.

j Membongkar rumah tingkat ⑳

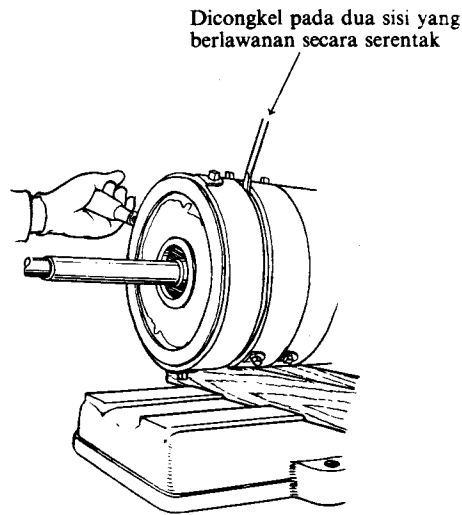
Untuk membongkar satu per satu rumah pada tingkat-tingkat yang di tengah pukulilah dengan palu kayu pada keliling luarnya secara miring ke arah keluar sampai renggang. Celah yang terjadi kemudian dicongkel dengan obeng dan rumah ditarik hing-



Gb. 7.40 Melepas impeler.



Gb. 7.41 Melepas pasak.



Gb. 7.42 Melepas rumah bagian tengah (bagain bertingkat).

ga lepas. (Lihat Gb. 7.42). Pekerjaan ini harus dilakukan dengan hati-hati agar cincin karet bulat ⑬ yang berfungsi merapatkan sambungan tidak sampai putus.

Dalam pembongkaran ini semua sudu antar ⑳, impeler ㉔ dan rumah tingkat ㉔ harus diberi nomor urut dan tanda posisi agar pada waktu perakitan kembali tidak tertukar dan terbalik atau terputar.

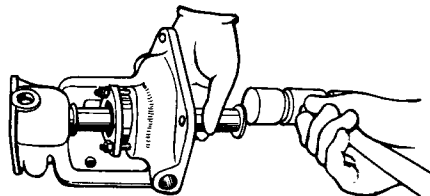
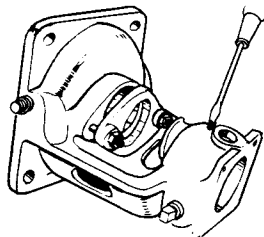
(3) Mengeluarkan dan memasang bagian-bagian yang dipasang sesak

Beberapa bagian harus dipasang dengan suaian sesak. Di bawah ini akan diuraikan cara melepas dan memasang bagian-bagian tersebut.

(a) Bus bantalan

Bus bantalan ③ biasanya dipasang dengan suaian paksa lalu dijamin dengan sekrup penutup. Untuk melepas bus ini, sekrup harus dibuka lebih dahulu (Gb. 7.43) lalu pukul bus bantalan ke arah tutup bantalan ㉑ dengan batang baja bulat yang berujung rata, lalu tarik keluar. (Lihat Gb. 7.44). Bus yang sudah dikeluarkan dengan paksa tidak dapat dipakai lagi.

Bus bantalan baru yang akan dipasang terlebih dahulu harus dicoba dipaskan pada porosnya untuk memeriksa apakah celah yang ada cukup tepat. Besar celah ini



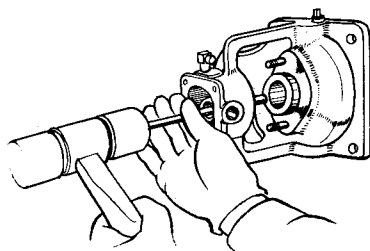
Gb. 7.43 Melepas sekrup penutup dari bus bantalan.

Gb. 7.44 Menarik ke luar bus bantalan.

bervariasi antara 0,06 sampai 0,1 mm\* pada pompa jenis ini, tergantung pada besar diameter poros. Setelah bus dipasang pada rumah bantalan, tepi lubang pada ujungnya disekrap sedikit menjadi bentuk kerucut agar poros mudah dimasukkan. Perlu diperhatikan agar alur cincin minyak tidak sampai terpukul. Selain itu permukaan luar bus bantalan pada titik di mana akan ditancapkan sekrup penutup, perlu lebih dahulu dibordir dangkal.

(b) Cincin lentera ⑧

Untuk mengeluarkan cincin ini dari kotak paking, ujung bus kotak paking harus dipukul dengan palu kayu dari sebelah dalam rumah, lalu tarik keluar. Untuk memasangnya kembali cincin harus dimasukkan dari tempat memasukkan paking lalu dipukul secara merata dengan perantara pipa. (Lihat Gb. 7.45).



Gb. 7.45 Memasang cincin lentera.

(c) Bus pengimbang dan bus antar tingkat

Beberapa bus pengimbang ⑩ dan bus antar tingkat mempunyai kerah sedangkan yang lainnya tidak. Untuk yang mempunyai kerah, pasang cincin (yang terbuat dari pipa) pada bus dari sisi yang tidak berkerah lalu pukul cincin ini untuk mengeluarkan bus dari rumah pompa. Untuk memasukkannya kembali, pasang bantalan kayu lalu pukul bus secara merata.

(d) Cincin perapat ⑮

Beberapa cincin perapat juga mempunyai kerah, sedangkan yang lain tidak. Cara melepas dan memasangnya sama seperti pada bus. Cincin perapat yang telah dilepas tidak dapat dipakai lagi. Jadi cincin ini hanya dibongkar bila perlu diganti dengan yang baru.

Cincin perapat mempunyai dinding tipis dan diameter besar sehingga mudah pecah. Karena itu pemasangannya harus dilakukan dengan hati-hati. Untuk itu cincin dipukul dengan palu kayu secara berkeliling secara merata dan dijaga jangan sampai miring. Setelah cincin terpasang, impeler dicoba masuk pada cincin. Jika terlalu sesak, permukaan dalam dan cincin yang menghambat perlu disekrap.

(e) Dudukan pengimbang ⑪

Dudukan pengimbang ditetapkan pada rumah pompa dengan sekrup. Pada dudukan ini terdapat lubang berulir yang letaknya berseberangan terhadap sumbu poros. Untuk melepasnya, sekrup penutup dibuka lalu disekrupkan pada lubang berulir untuk mendorong dudukan lepas dari tempatnya. Pada waktu memasang, sekrup penutup harus dikencangkan secukupnya agar tidak ada kebocoran melalui sambungannya.

\* Yang dimaksud dengan besar celah di sini adalah perbedaan antara diameter luar poros dan diameter dalam bus bantalan.

## (4) Merakit pompa

Rumah maupun bagian yang berputar dari pompa bertingkat terdiri dari ~~bagian~~ bagian-bagian yang harus disusun rapat dalam arah sumbu poros. Jika permukaan ~~bagian~~ bagian-bagian yang saling menempel tidak saling sejajar dan tidak tegak lurus sumbu poros, maka susunan pompa akan menjadi bengkok. Karena itu sebelum dan sewaktu perakitan, bidang-bidang tersebut harus dijaga kesejajaran dan ketegaklurusannya. Untuk itu bagian-bagian harus disusun dengan arah urutan yang benar. Di sini harus dijaga pula agar tidak ada kotoran atau tonjolan logam yang terselip atau mengganjal permukaan yang akan saling dirapatkan. Perakitan masing-masing bagian dapat dilakukan sebagai berikut.

## (a) Rumah bantalan

Rumah bantalan ② (pada sisi kopling) harus dipasang pada rumah sisi isap pompa ④. Untuk ini rumah isap ④ dipasang sementara pada landasan untuk memudahkan pekerjaan. Bersihkan karat dari permukaan-permukaan yang akan saling menempel dan haluskan bila ada goresan atau tonjolan yang mengganggu kerapatan. Setelah itu ikat dengan baut.

## (b) Selubung ⑨ dan pasak poros

Poros ④ harus terlebih dahulu diampelas dan tonjolan-tonjolan yang terjadi pada waktu mengeluarkan pasak harus diratakan dengan kikir. Paking karet bulat harus dipasang antara selubung ⑨ dan kerah poros.

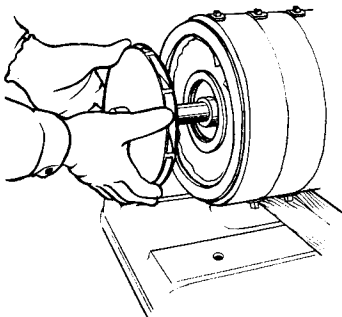
## (c) Memasang poros ④ pada rumah isap ④ dan rumah bantalan ②

Poros ④ harus dipasang dari sebelah dalam rumah isap ④. Sebelum memasang pada bantalan ②, penekan paking ⑤ dan deflektor ⑩ harus dipasangkan pada poros terlebih dahulu. Selanjutnya pada waktu poros dimasukkan ke bus bantalan ③ cincin minyak ⑪ harus diangkat agar poros dapat masuk. Sebaiknya sebelum poros dimasukkan, permukaan dalam bus bantalan dilumuri dengan minyak lebih dahulu.

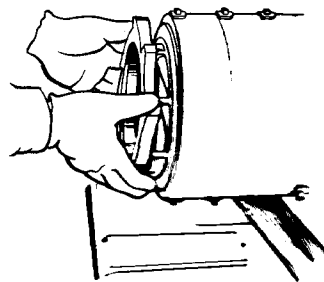
Dalam keadaan ini poros akan mencuat dan hanya dipegang oleh satu bantalan. Karena itu harus dijaga agar poros tidak terkena lenturan yang berlebihan pada pekerjaan selanjutnya agar bantalan dan poros tidak rusak.

## (d) Impeler

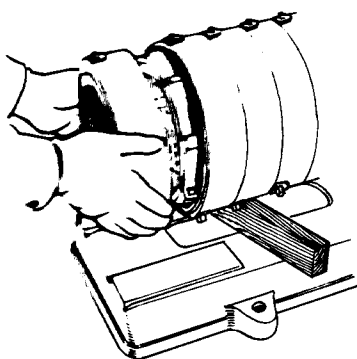
Impeler ⑫ dipasang pada poros ④ dalam urutan menurut tanda yang diberikan pada saat pembongkaran. Untuk ini seseorang harus menahan ujung poros pada sisi



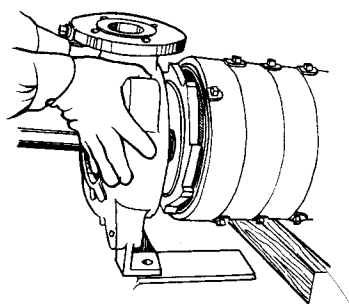
Gb. 7.46 Memasang impeler.



Gb. 7.47 Memasang sudu antar.



Gb. 7.48 Memasang rumah bagian bertingkat.



Gb. 7.49 Memasang rumah ujung keluar.

samp dengan sepotong papan dan seorang yang lain mendorong impeler sampai mentok. (Lihat Gb. 7.46).

(e) Sudu antar

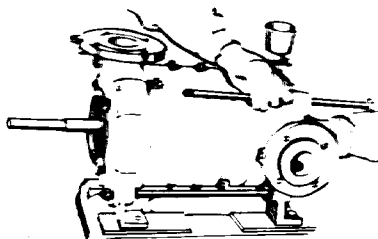
Sudu antar ② dan rumah mempunyai tonjolan-tonjolan untuk mencegah sudu antar berputar terhadap rumah. Pada waktu pemasangan, tonjolan pada sudu antar harus menyentuh tonjolan pada rumah dalam arah perputaran karena aliran. (Lihat Gb. 7.47).

(f) Rumah tingkat

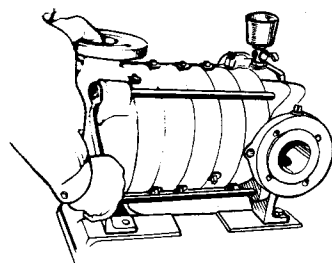
Sebelum rumah tingkat ③ dipasang, goresan dan tonjolan pada permukaan yang terjadi pada waktu pembongkaran harus dihaluskan dengan kikir. Kemudian rumah dipasang dengan memberikan paking karet bulat ⑬ seperti diperlihatkan dalam Gb. 7.48. Rumah tingkat harus disusun sedemikian rupa hingga lubang-lubang laluan udara terletak segaris di puncak rumah.

(g) Rumah ujung keluar ⑭

Untuk memasang bagian ini, badan pompa bagian tengah diangkat sedikit dengan mendongkeli, lalu masukkan sambungan rumah ini pada sambungan rumah tingkat. Rumah-rumah tingkat yang sudah terpasang harus dijaga agar tidak terlepas lagi. (Lihat Gb. 7.49)



Gb. 7.50 Memasang baut pengikat.



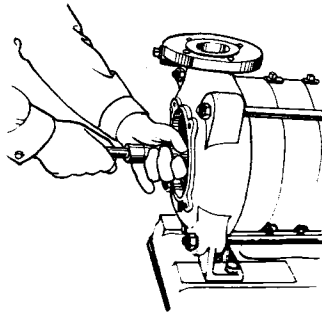
Gb. 7.51 Memasang baut pengikat.

## (h) Baut pengikat ⑩

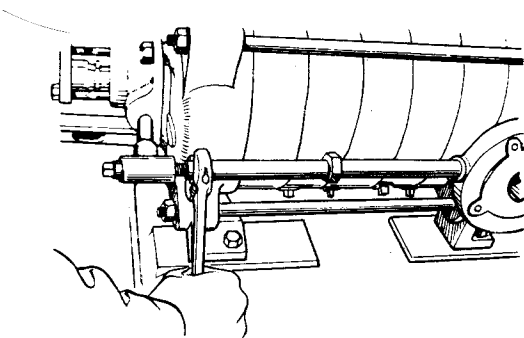
Untuk sementara baut pengikat dikencangkan sedikit secara merata (lihat Gb. 7.50) dan baut pada kaki rumah ujung isap ⑭ dikendorkan sedikit. Kemudian seluruh badan pompa sedikit diangkat dan dihentakkan beberapa kali dengan hati-hati agar keempat kaki pada rumah ujung isap dan rumah ujung keluar dapat berdiri rata pada landasan. (Lihat Gb. 7.51). Setelah itu baut pengikat dikencangkan lebih lanjut dalam urutan yang saling bersilangan dan dilakukan sedikit demi sedikit secara merata.

## (i) Cakram pengimbang ⑮ dan selubung poros ⑨

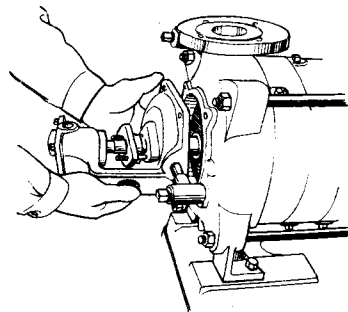
Paking karet bulat harus dipasang di mana diperlukan. Mur selubung ⑰ harus dikencangkan pada posisi yang benar dan tidak terbalik. Dalam hal ini mur harus dikencangkan sampai permukaan belakangnya tepat pada tanda yang telah dibuat pada waktu pembongkaran. Kemudian gerakkan poros maju mundur untuk meyakinkan bahwa celah yang ada kurang lebih sama dengan keadaan sebelum pompa dibongkar. (Lihat Gb. 7.52). Pasangkan kopling dan putar dengan tangan. Meskipun poros tidak dapat berputar dengan mudah, namun selama masih dapat diputar dengan tangan, masih dapat diterima. Jika gerakan maju mundur dan pemutaran dengan tangan tidak menunjukkan hasil yang memuaskan, maka pompa harus dibongkar dan dirakit kembali.



Gb. 7.52 Memeriksa celah dalam arah aksial dari bagian-bagian yang berputar.



Gb. 7.54 Memasang pipa pengimbang.



Gb. 7.53 Memasang rumah bantalan.

(j) Tutup kamar pengimbang dan rumah bantalan

Tutup kamar pengimbang pada beberapa pompa menjadi satu dengan rumah bantalan ④, dan pada pompa yang lain tidak demikian. Namun pemasangan penekan paking ⑤, pelemper ⑥ dan cincin minyak ② harus dilakukan dengan cara yang sama seperti pada ~~yang sap~~. (Lihat Gb. 7.53).

(k) Pipa pengimbang dan pipa perapat

Pipa ~~pengimbang~~ ② dan pipa perapat ① harus dipasang setelah bagian dalamnya dibersihkan secara sempurna. (Lihat Gb. 7.54).

(l) Paking tekan dan penekan paking

Paking tekan dan penekan paking dipasang seperti diberikan dalam uraian yang ~~terdahulu~~

ii Pelurusan dan pemasangan pipa

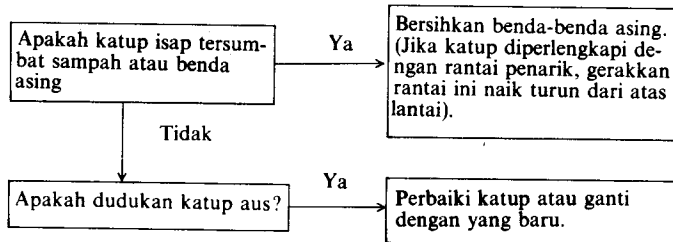
Pelurusan ini juga sama dengan uraian terdahulu.

Dalam bab ini diuraikan berbagai gangguan pada pompa dan cara mengatasinya secara sistematis dalam bentuk diagram blok.

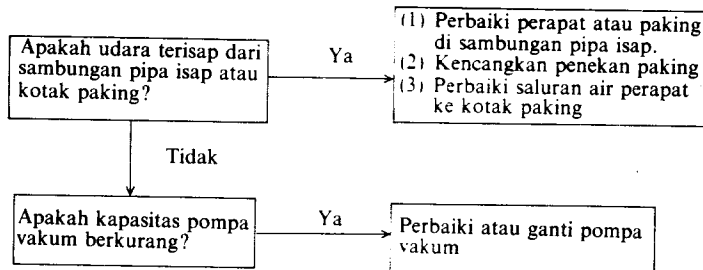
### 8.1 Gangguan Umum Dan Mengatasinya

#### (1) Pompa sukar dipancing

##### (a) Katup isap

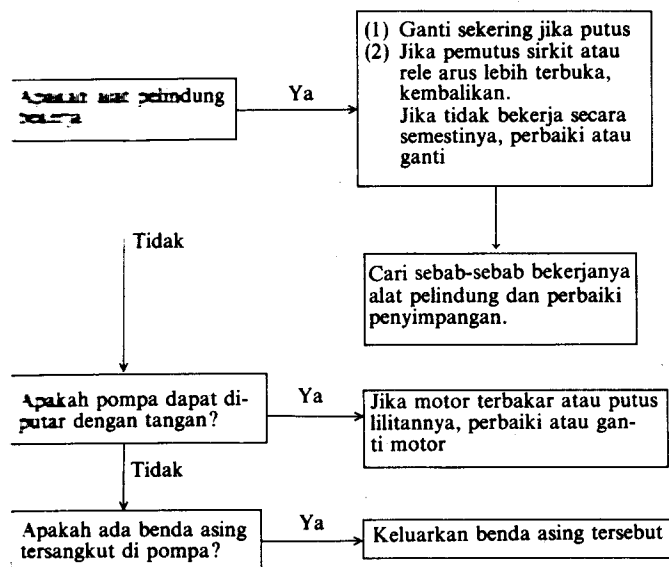


##### (b) Pompa vakum

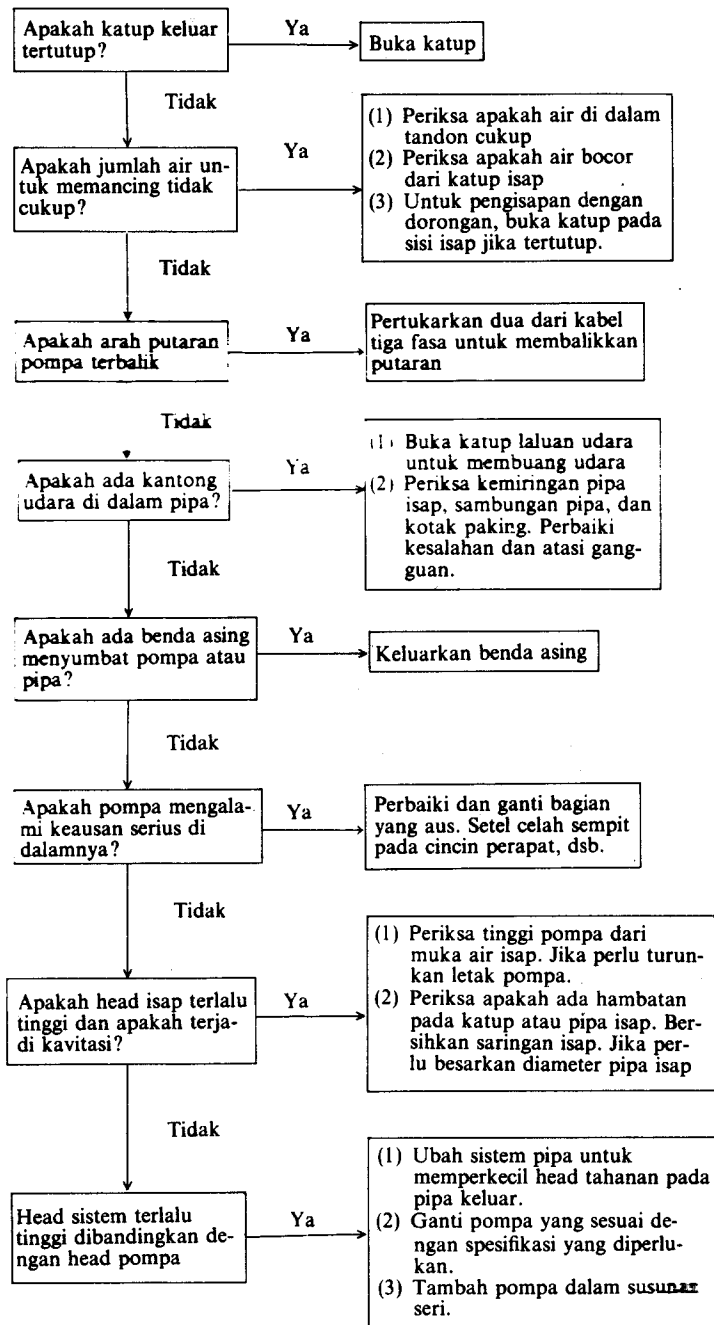




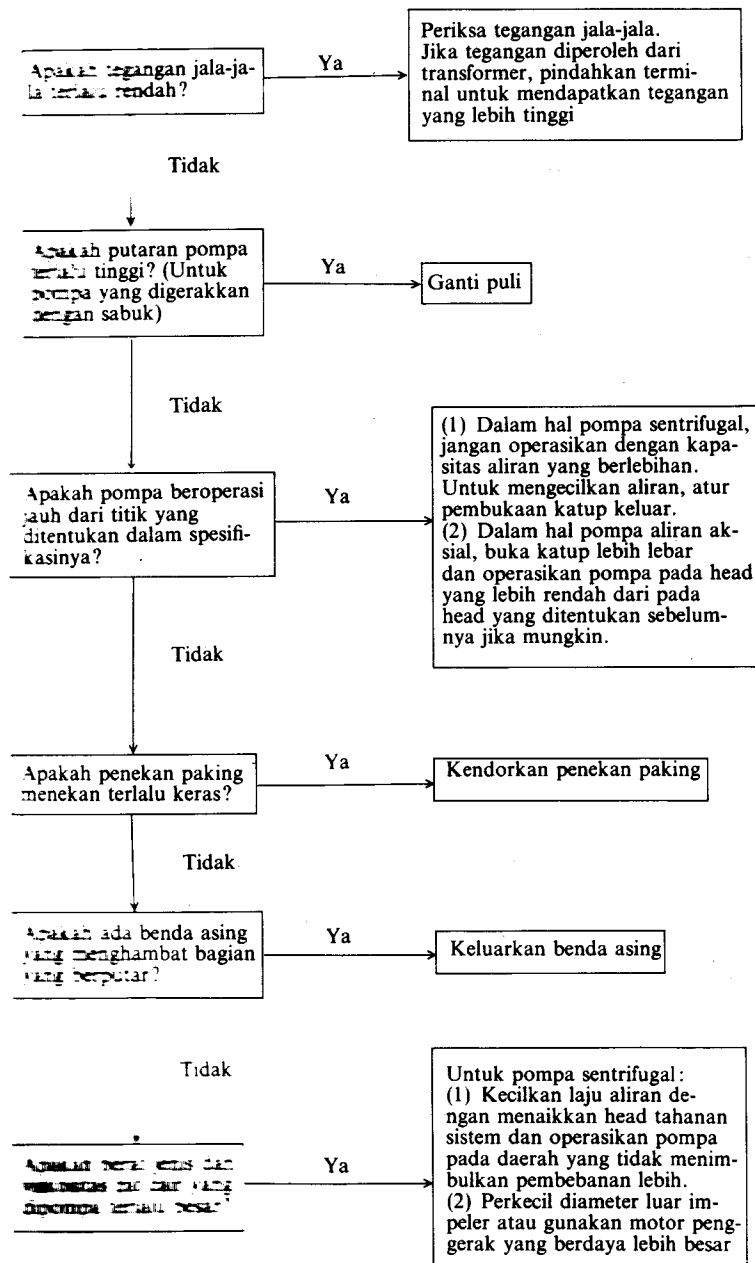
## (2) Pompa tidak berputar setelah tombol ditekan



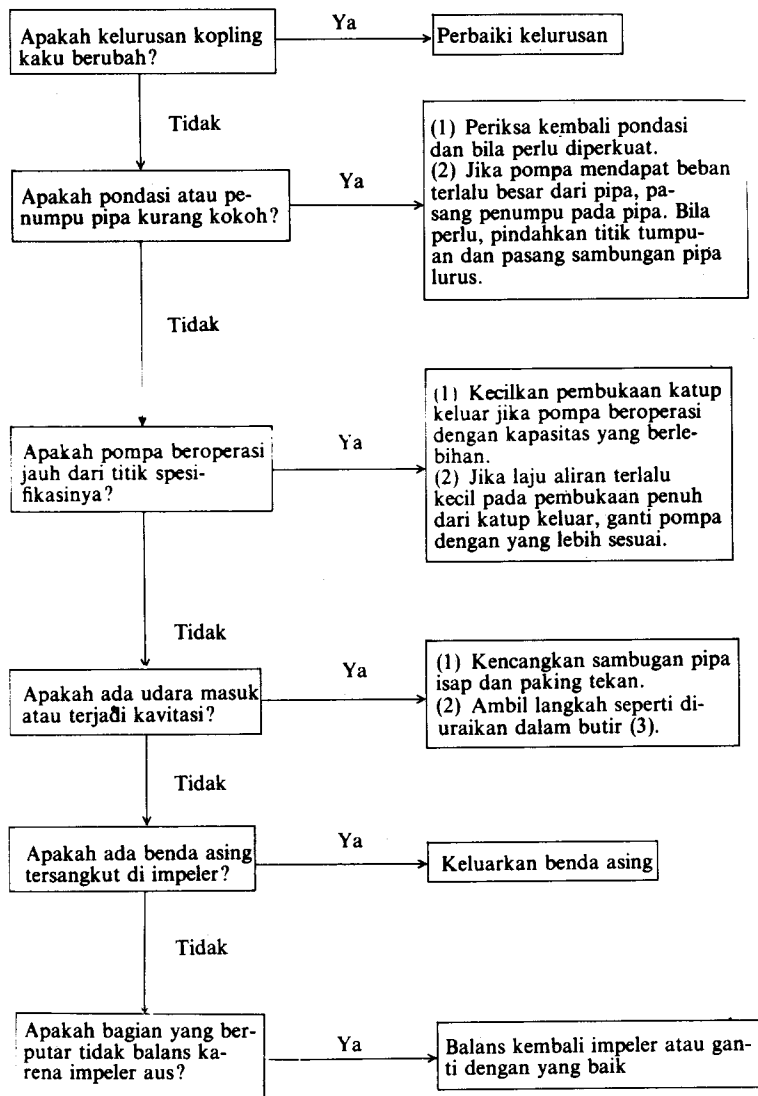
## (3) Pompa berputar tetapi air tidak mau keluar atau aliran kurang besar



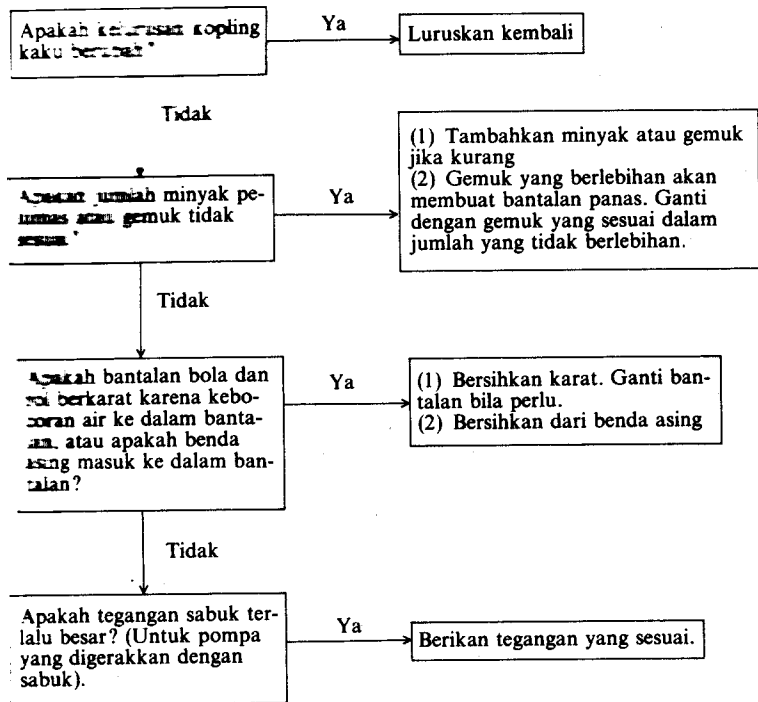
## (4) Motor mengalami pembebanan lebih



## (5) Bunyi dan getaran terlalu berlebihan

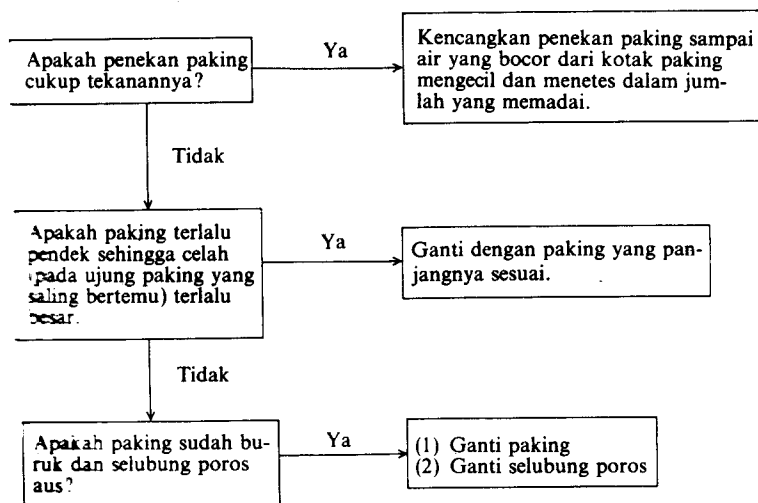


## (6) Bantalan panas melebihi batas

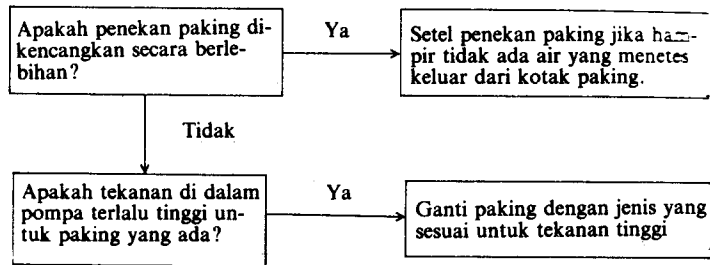


## Kebocoran dan pemanasan kotak paking

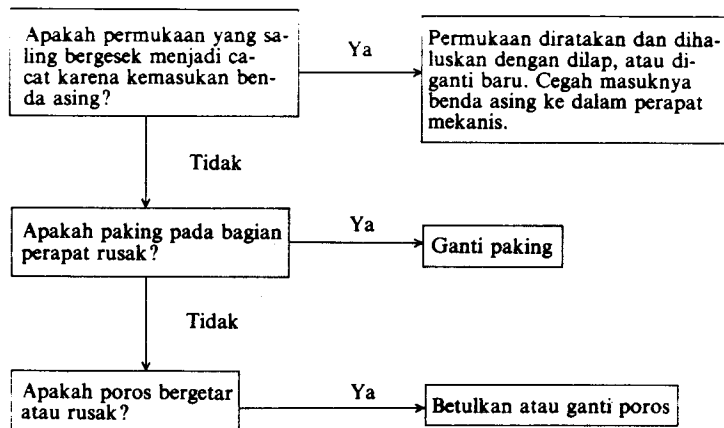
## (a) Air bocor dari paking tekan



## (b) Paking tekan menjadi panas

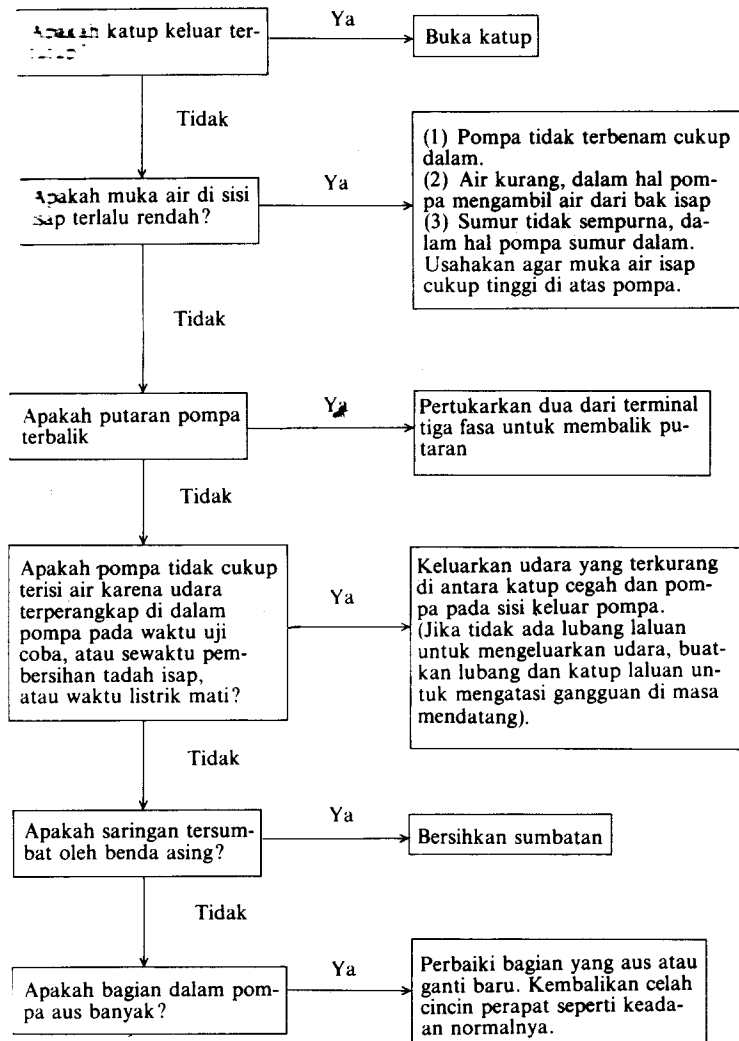


## (c) Air bocor dari perapat mekanis

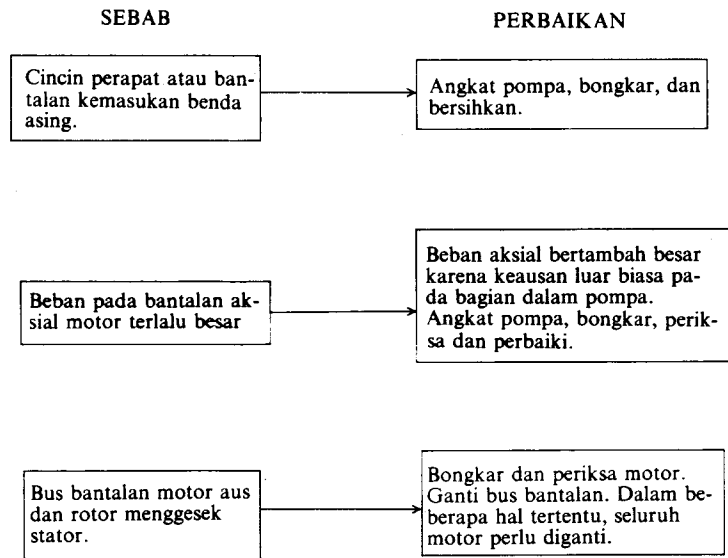


## 8.2 Gangguan Dan Cara Perbaikan Pompa Benam

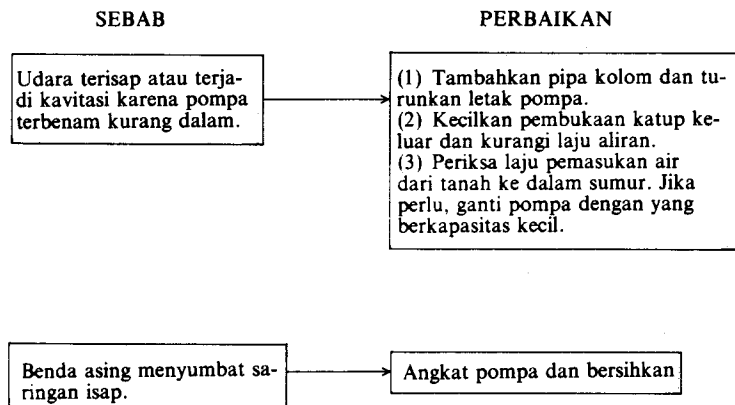
### (1) Air tidak mau keluar atau aliran kecil



(2) Penunjukan manometer tidak banyak berubah tetapi jarum amperemeter bergerak-gerak.



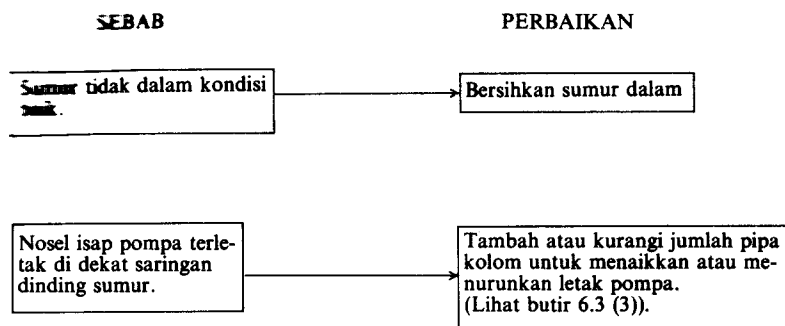
(3) Jarum manometer dan amperemeter bergerak-gerak



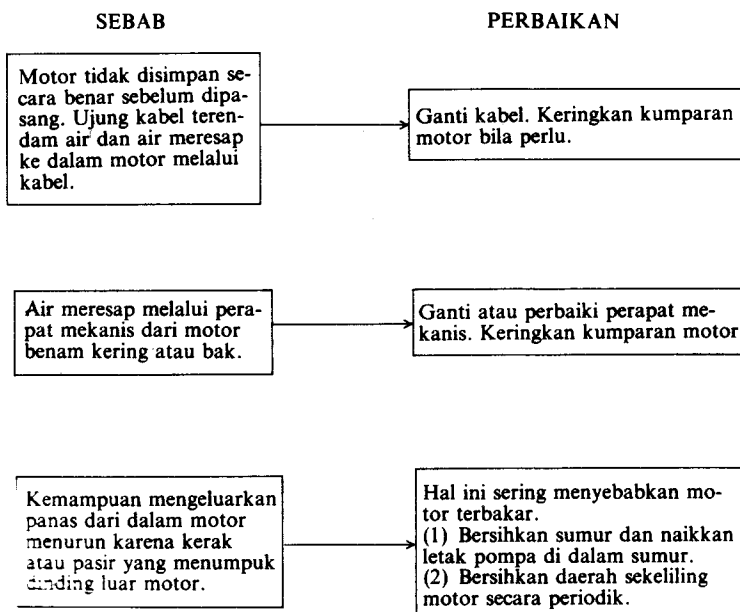


## 8 Mengatasi gangguan

### 4. Air yang dipompa mengandung banyak pasir



### (5) Tahanan isolasi motor benam menurun



## **BAGIAN II. KOMPRESOR**

# AZAS KERJA DAN KLASIFIKASI KOMPRESOR

Kompresor adalah mesin untuk memampatkan udara atau gas. Kompresor udara biasanya mengisap udara dari atmosfer. Namun ada pula yang mengisap udara atau gas yang bertekanan lebih tinggi dari tekanan atmosfer. Dalam hal ini kompresor bekerja sebagai penguat (booster). Sebaliknya ada pula kompresor yang mengisap gas yang bertekanan lebih rendah dari pada tekanan atmosfer. Dalam hal ini kompresor disebut pompa vakum.

## 1.1 Azas Pemampatan Zat

Kompresor pada dasarnya bekerja memampatkan gas. Adapun zat yang dapat dimampatkan bukan hanya gas saja melainkan juga zat padat.

Untuk menelaah peristiwa ini perhatikan Gb. 1.1. Di sini sebuah kolom zat padat dengan luas penampang  $A$  akan dimampatkan di antara pelat atas dan pelat bawah. Jika gaya tekan adalah  $P$  maka tegangan tekan dan regangan tekan adalah sebagai berikut:

$$\text{Tegangan tekan } \sigma = \frac{P}{A}$$

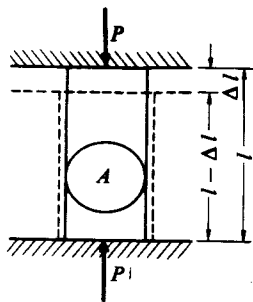
$$\text{Regangan tekan } \varepsilon = \frac{\Delta l}{l}$$

Jika kenaikan tegangan dilukiskan terhadap kenaikan regangan akan diperoleh diagram seperti diperlihatkan dalam Gb. 1.2. Mula-mula  $\sigma$  naik secara sebanding (proporsional) terhadap kenaikan  $\varepsilon$  sampai batas tertentu, yaitu batas proporsional. Pada daerah ini, yang disebut daerah elastis, berlaku hubungan

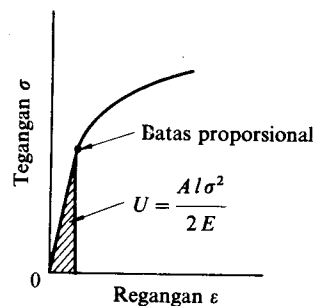
$$\sigma = E \cdot \varepsilon.$$

di mana  $E$  adalah konstanta yang disebut modulus elastisitas memanjang.

Untuk pemampatan tersebut, gaya  $P$  melakukan kerja terhadap zat padat. Kerja ini akan disimpan di dalam zat padat sebagai energi regangan  $U$ , yang besarnya dapat dinyatakan sbb.:



Gb. 1.1 Kompresi benda padat.



Gb. 1.2 Energi elastik.

$$U = \frac{1}{2} P \cdot \Delta l = \frac{1}{2} \sigma A \cdot \epsilon l = \frac{Al}{2} \cdot \frac{\sigma^2}{E} \quad (1.1)$$

Bahwa benda padat dapat dimampatkan dan dapat menyimpan energi, mudah dilihat dengan jelas pada pemampatan sebuah pegas. Energi regangan akan dapat diperoleh kembali jika pegas diberi kesempatan memuai ke keadaan semula. Namun energi regangan benda padat tidak mudah disalurkan ke tempat lain yang memerlukan.

Adapun pemampatan fluida, yaitu gas dan zat cair, dapat diterangkan dengan cara yang sama dengan zat padat. Namun, berbeda dengan zat padat, fluida dapat menempati ruang yang berbentuk apa saja serta dapat mengalir. Selain itu fluida memenuhi hukum Pascal di mana tekanan yang dikenakan pada satu bagian fluida di dalam bejana tertutup akan diteruskan ke segala arah. Asas ini tidak berlaku bagi benda padat di mana tegangan terjadi searah dengan gaya  $P$ ; untuk arah lain, harga tegangan lebih kecil dari pada  $\sigma$ .

Sebelum perhatikan Gb. 1.3 di mana fluida ditem-  
patkan di dalam sebuah bejana silinder kokoh dengan  
luas penampang  $A$  dan ke dalam  $l$ . Fluida dimampatkan  
dengan gaya tekan  $P$  melalui sebuah torak. Maka  
tegangan di dalam fluida adalah

$$p = \frac{P}{A}$$

Tegangan ini diteruskan ke semua titik di dalam bejana  
dengan harga yang sama.

Fluida ini mempunyai volume awal  $V$  dan  
kemudian menciut dengan  $\Delta V$  karena kenaikan tekanan,  
maka regangan volumetris diberikan oleh  $\Delta V/V$ .  
Adapun tekanannya dapat dinyatakan dengan

$$z = K \frac{\Delta V}{V} = K \frac{\Delta l}{l} \quad (\text{jika } A = \text{tetap}) \quad (1.2)$$

di mana  $K$  adalah modulus curah (bulk) fluida.

Dalam zat cair, harga  $K$  dapat dianggap tetap tidak tergantung pada tekanan.  
Maka energi yang tersimpan di dalam zat cair dapat dinyatakan sebagai

$$U = \frac{1}{2} P \cdot \Delta l = \frac{1}{2} A p \frac{l p}{K} = \frac{Al}{2} \frac{p^2}{K} \quad (1.3)$$

Rumus ini masih terlihat serupa dengan Pers. (1.1) untuk zat padat.

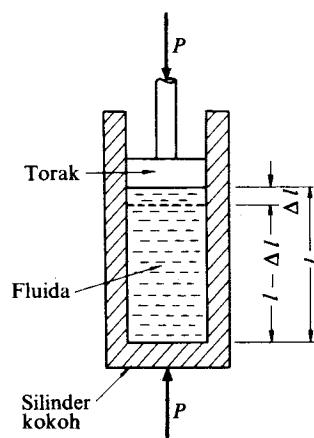
Jika fluida tersebut berupa gas maka modulus curah  $K$  tidak tetap harganya dan  
tergantung pada tekanan gas yang bersangkutan. Dari Pers. (2.4) yang akan diberikan  
kemudian harga  $K$  dapat dinyatakan sebagai

$$K = \frac{\sigma}{\epsilon} = \frac{p}{\frac{\Delta V}{V}} \quad (1.4)$$

di mana  $\kappa$ : perbandingan panas jenis pada volume tetap dan tekanan tetap ( $c_p/c_v$ ) dari  
gas yang bersangkutan.

$p$ : tekanan mutlak gas

Untuk kasus seperti diperlihatkan dalam Gb. 1.3  $\kappa p$  dapat dinyatakan sebagai



Gb. 1.3 Kompresi fluida.

$$\kappa p = \frac{dp}{\left(\frac{dl}{l}\right)}$$

sehingga energi regangan  $U$  dapat ditulis sebagai

$$U = A \int p dl = A \int \frac{l dp}{\kappa} = \frac{Al}{\kappa} \int_{p_1}^{p_2} dp = \frac{Al}{\kappa} \Delta p$$

Jadi besar energi yang disimpan dalam proses pemampatan gas tergantung pada kenaikan tekanan  $\Delta p$  dan harga  $\kappa$ .

Besarnya energi yang tersimpan pada proses pemampatan zat padat, zat cair dan gas untuk volume ( $A \times l$ ) yang sama, diperlihatkan dalam Tabel 1.1.

**Tabel 1.1 Energi yang tersimpan pada proses kompresi.**

	Zat padat: baja keras	Zat cair: air		Gas: udara	
Rumus	(1.1)		(1.3)		(1.5)
$\sigma$	$8 \times 10^4 \text{ kgf/m}^2$ { $780 \times 10^4 \text{ kPa}$ }	$p$	$8 \times 10^4 \text{ kgf/m}^2$ { $780 \times 10^4 \text{ kPa}$ }	$\Delta p$	$7 \times 10^4 \text{ kgf/m}^2$ { $690 \times 10^4 \text{ kPa}$ }
$E$	$2,1 \times 10^{10} \text{ kgf/m}^2$ { $206 \times 10^{10} \text{ kPa}$ }	$K$	$2,1 \times 10^8 \text{ kgf/m}^2$ { $206 \times 10^{10} \text{ kPa}$ }	$p_1$	$10^4 \text{ kgf/m}^2$ { $98 \times 10^4 \text{ kPa}$ }
$\frac{\sigma^2}{2E}$	$1,5 \times 10^{-1} \text{ kgf/m}^2$ { $14,7 \text{ kPa}$ }	$\frac{p^2}{2K}$	$15 \text{ kgf/m}^2$ { $1470 \text{ kPa}$ }	$p_2$	$8 \times 10^4 \text{ kgf/m}^2$ { $780 \times 10^4 \text{ kPa}$ }
				$\kappa$	1,4
				$\frac{\Delta p}{\kappa}$	$5 \times 10^4 \text{ kgf/m}^2$ { $490 \times 10^4 \text{ kPa}$ }

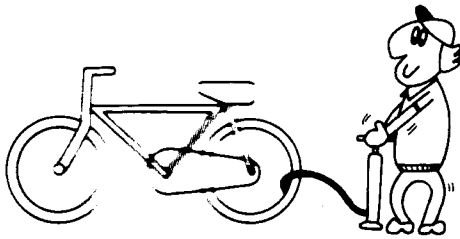
Jika harga-harga

$$\frac{\sigma^2}{2E}, \quad \frac{p^2}{2K}, \quad \text{dan} \quad \frac{\Delta p}{\kappa}$$

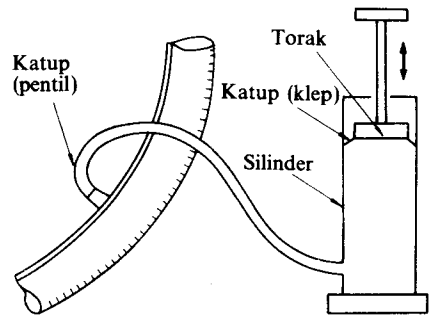
dari tabel ini diperbandingkan, nyatalah bahwa harga untuk udara jauh lebih besar dari pada yang lain. Jadi gas mempunyai kemampuan besar untuk menyimpan energi per satuan volume dengan menaikkan tekanannya. Selain itu, energi gas yang disimpan di dalam suatu bejana, dapat disalurkan dan dibagikan ke tempat-tempat lain melalui pipa. Di samping keuntungan tersebut ada beberapa hal yang memerlukan perhatian khusus pada kompresi gas. Kenaikan temperatur pada waktu pemampatan, pendinginan pada waktu pemuaian, dan kebocoran yang mudah terjadi, harus dapat diatasi dengan baik.

## 1.2 Azas Kompresor

Jika suatu gas di dalam sebuah ruangan tertutup diperkecil volumenya maka gas akan mengalami kompresi. Kompresor yang menggunakan azas ini disebut kompresor jenis perpindahan (displacement). Secara prinsip, kompresor jenis ini dilaksanakan seperti di dalam Gb. 1.3. Adapun pelaksanaannya dalam praktek memerlukan konstruksi seperti diperlihatkan dalam Gb. 4.1. Di sini digunakan torak yang bergerak bolak-balik di dalam sebuah silinder untuk mengisap, menekan, dan mengeluarkan gas secara



Gb. 1.4 Pompa ban sepeda.

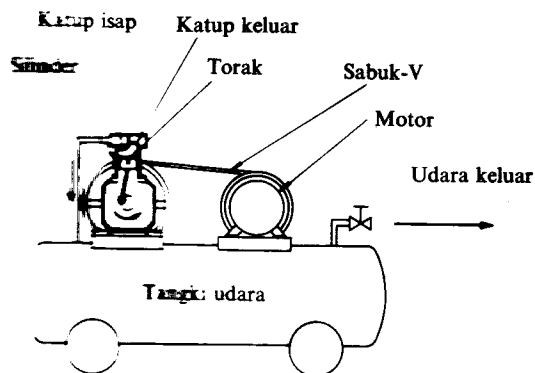


Gb. 1.5 Prinsip kompresor adalah mirip dengan pompa ban.

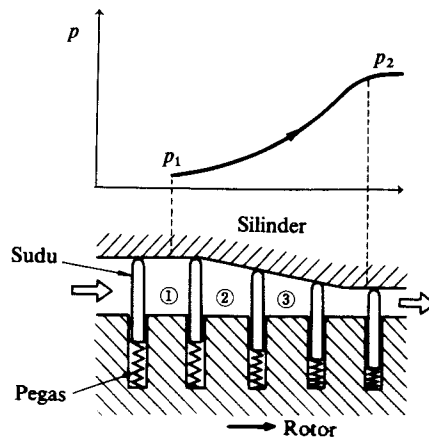
berbagai macam. Dalam hal ini gas yang ditekan tidak boleh membocor melalui celah antara dinding torak dan dinding silinder yang saling bergesek. Untuk itu digunakan cincin torak sebagai perapat.

Contoh nyata dari kompresor perpindahan yang paling umum dan sederhana adalah pompa ban untuk sepeda atau mobil seperti diperlihatkan dalam Gb. 1.4 dan 1.5. Cara kerjanya adalah sebagai berikut. Jika torak ditarik ke atas, tekanan dalam silinder di bawah torak akan menjadi negatif (lebih kecil dari tekanan atmosfer) sehingga udara akan masuk melalui celah katup isap. Katup ini terbuat dari kulit, dipasang pada torak yang sekaligus berfungsi juga sebagai perapat torak. Kemudian jika torak ditekan ke bawah, volume udara yang terkurung di bawah torak akan mengecil sehingga tekanan akan naik. Katup isap akan menutup dengan merapatkan celah antara torak dan dinding silinder. Jika torak ditekan terus, volume akan semakin kecil dan tekanan di dalam silinder akan naik melebihi tekanan di dalam ban. Pada saat ini udara akan terdorong masuk ke dalam ban melalui pentil (yang berfungsi sebagai katup keluar). Maka tekanan di dalam ban akan semakin bertambah besar.

Pada kompresor yang sesungguhnya torak tidak digerakkan dengan tangan melainkan dengan motor melalui poros engkol seperti diperlihatkan dalam Gb. 1.6. Dalam hal ini katup isap dan katup keluar dipasang pada kepala silinder. Adapun sebagai penampung udara dipakai tangki udara. Tangki ini dapat dipersamakan dengan ban pada pompa ban. Kompresor semacam ini di mana torak bergerak bolak-balik disebut kompresor bolak-balik.



Gb. 1.6 Unit kompresor.



Gb. 1.7 Dengan kompresi dalam (jenis sudu atau sekrup).

Kompresor bolak-balik menimbulkan getaran karena gaya inersia sehingga tidak sesuai untuk beroperasi pada putaran tinggi. Karena itu berbagai kompresor putar (rotary) telah dikembangkan dan tersedia banyak di pasaran.

Kompresor putar jenis sudu luncur (Gb. 4.27) mempunyai sebuah rotor bersudu dan berputar di dalam stator berbentuk silinder. Rotor dipasang secara eksentrik (tidak sesumbu) terhadap silinder. Sudu-sudu dipasang pada alur-alur di sekeliling rotor dan ditekan ke dinding silinder oleh pegas di dalam alur. Jika rotor berputar maka sudu akan ikut berputar sambil meluncur di permukaan dalam dinding silinder.

Adapun cara pemampatan gas di dalam kompresor putar ini dapat diterangkan dengan bagan seperti diberikan dalam Gb. 1.7. Dalam bagan ini bentuk permukaan rotor (yang seharusnya berbentuk lingkaran) disederhanakan menjadi lurus dan diperlengkapi dengan sudu-sudu. Sudu-sudu menekan permukaan silinder karena tekanan di dalam alur rotor. Dinding dalam silinder disederhanakan pula menjadi lurus dan miring. Dengan demikian ruang antara rotor dan silinder menyempit ke arah kanan. Sekarang jika rotor digerakkan ke kanan, gas yang ada di antara dinding rotor dan silinder dan yang dikurung di antara dua sudu (misalnya di ruang ①) akan terbawa ke kanan. Ruang ini akan mengecil (menjadi ②, ③, dst). Jadi gas akan diisap dari kiri dan dibawa ke kanan sambil dimampatkan lalu dikeluarkan di sebelah kanan dengan tekanan yang lebih tinggi. Sebaliknya jika rotor digerakkan ke sebelah kiri maka gas akan diisap dari kanan, dibawa ke kiri sambil dikembangkan lalu dikeluarkan.

Azas kerja seperti diuraikan di atas dilaksanakan dalam kompresor putar sudu luncur dengan gerakan berputar oleh rotor dan stator berbentuk silinder. Azas pemampatan gas pada kompresor ini pada dasarnya sama dengan kompresor torak di mana gas dikurung lalu dimampatkan dengan mengecilkan volume ruangan yang mengurungnya hingga naik tekanannya. (Jadi secara prinsip berbeda dengan kompresor sentrifugal di mana pemampatan gas diperoleh dengan gaya sentrifugal yang dihasilkan oleh impeler).

Kompresor putar mempunyai getaran yang relatif sangat kecil dibandingkan dengan kompresor torak. Hal ini disebabkan sudu-sudu kompresor putar yang merupakan elemen yang bergerak bolak-balik mempunyai masa yang jauh lebih kecil dari pada torak. Selain itu kompresor putar tidak memerlukan karup, sedangkan fluktuasi alirannya sangat kecil dibandingkan dengan kompresor torak.

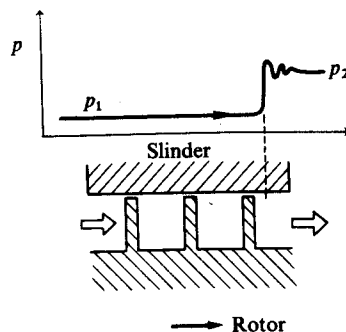
Namun demikian, pada kompresor sudu luncur terdapat masalah kerugian gesek,

keausan, dan kebocoran yang besar pada sisi-sisi sudu. Selain itu performansinya akan menjadi buruk jika perbandingan tekanan kerjanya tidak sesuai dengan harga optimumnya. Hal ini disebabkan oleh cara kompresi di mana gas dimampatkan sampai suatu perbandingan volume tertentu sebelum dikeluarkan. Jadi tekanan yang dihasilkan pada saat akan dikeluarkan, tidak selalu sama dengan tekanan kerja di pipa keluar.

Kompresor putar jenis sekrup (Gb. 4.17) mempunyai sepasang rotor berbentuk sekrup. Pasangan ini berputar serempak dalam arah yang berlawanan dan saling mengait seperti roda gigi. Putaran serempak ini dapat berlangsung karena kaitan gigi-gigi rotor itu sendiri atau dengan perantaraan sepasang roda gigi penyerempak putaran. Karena gesekan antar rotor sangat kecil, kompresor ini mempunyai performansi yang baik untuk umur kerja yang panjang. Perbedaan tekanan maksimum yang diizinkan pada kompresor jenis ini ditentukan oleh defleksi lentur rotor dan besarnya biasanya adalah  $30 \text{ kg/cm}^2$  (2900 kPa).

Asas pemampatan gas dalam kompresor putar jenis sekrup diperlihatkan dalam gambar pada Gb. 1.8. Di sini gas seolah-olah didorong oleh torak bersudu di mana tinggi sudu adalah tetap. Di sini gas tidak mengalami kompresi pada waktu didorong dari kiri ke kanan. Baru setelah gas dikeluarkan ke sisi keluar yang mempunyai tekanan lebih tinggi, di situ terjadi kompresi.

Dalam pelaksanaan kompresor ini mempunyai bentuk blower jenis roots. Karena kompresi tidak dilakukan di dalam maka pulsasi dan bunyi menjadi besar. Performansinya akan menurun cepat bila dioperasikan pada perbandingan tekanan yang tinggi. Kompresor ini biasanya dipakai untuk tekanan lebih (gage pressure) kurang dari 6000 mm H<sub>2</sub>O (60 kPa).

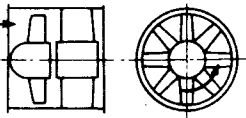
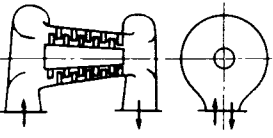
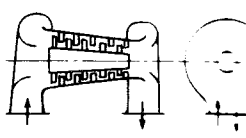
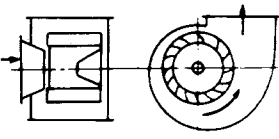
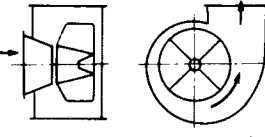
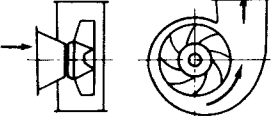
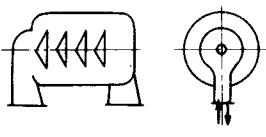
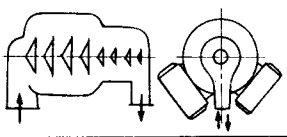
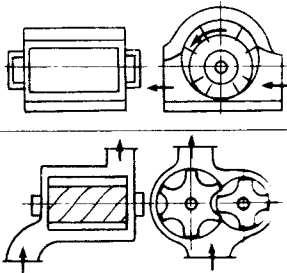
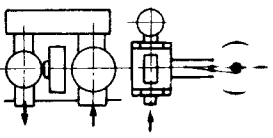


Gb. 1.8 Tanpa kompresi dalam (jenis root).

### 1.3 Klasifikasi Kompresor

Kompresor terdapat dalam berbagai jenis dan model tergantung pada volume dan tekanannya. Gb. 1.9 memperlihatkan klasifikasi kompresor yang digolongkan atas dasar tekanannya. Sebagai kompresor (pemampat) dipakai untuk jenis yang bertekanan tinggi, blower (pompa) untuk yang bertekanan agak rendah, sedangkan fan (kipas) untuk yang bertekanan sangat rendah. Atas dasar cara pemampatannya kompresor dibagi atas jenis turbo dan jenis perpindahan. Jenis turbo menaikkan tekanan dan kecepatan gas dengan gaya sentrifugal yang ditimbulkan oleh impeler, atau dengan gaya angkat (lift) yang ditimbulkan oleh sudu. Jenis perpindahan, seperti telah diterangkan di muka, menaikkan tekanan dengan memperkecil atau memampatkan volume gas yang diisap ke dalam silinder atau stator oleh torak atau sudu.



Nama		Fan dan blower		Kompresor
Tekanan		Fan (kipas)	Blower (peniup)	
Jenis	Jenis aksial	Kurang dari 1000 mm Air (9800 Pa)	1 - 10 m Air (9800 Pa - 98 kPa)	Lebih dari 10 m Air (98 kPa)
Jenis turbo	Aksial			
	Sudu banyak		/	
	Radial			
	Turbo			
Jenis perpindahan (displacement)	Roots	/		/
	Sudu luncur			
	Sekrup	/		
	Bolak-balik	/		

Gb. 1.9 Klasifikasi kompresor.

Kompresor jenis perpindahan seperti telah disinggung di muka, dapat dibagi atas jenis putar dan jenis bolak-balik. Kompresor putar dapat dibagi lebih lanjut atas jenis roots, sudu lurus, dan sekrup.

Kompresor juga dapat diklasifikasikan atas dasar konstruksinya seperti di bawah ini.

- 1) ~~Klasifikasi~~ berdasarkan jumlah tingkat kompresi: satu-tingkat, dua-tingkat, ... banyak tingkat
- 2) ~~Klasifikasi~~ berdasarkan langkah kerja (pada kompresor torak): kerja tunggal (~~single acting~~) kerja ganda (double acting).
- 3) ~~Klasifikasi~~ berdasarkan susunan silinder (untuk kompresor torak): mendatar, tegak, bentuk-L, bentuk-V, bentuk-W, bentuk bintang, lawan berimbang (balans opposed).
- 4) ~~Klasifikasi~~ berdasarkan cara pendinginan: pendinginan air, pendinginan udara.
- 5) ~~Klasifikasi~~ berdasarkan transmisi penggerak: langsung, sabuk-V, roda gigi.
- 6) ~~Klasifikasi~~ berdasarkan penempatannya: permanen (stationary), dapat dipindah (~~portable~~).
- ~~Klasifikasi~~ berdasarkan cara pelumasan: pelumasan minyak, tanpa minyak.

## DASAR-DASAR KOMPRESI GAS DAN KLASIFIKASI KOMPRESOR

### 2.1 Sifat-Sifat Fisik Udara

#### 2.2.1 Susunan udara

Bumi ini merupakan sebuah planit yang diselubungi suatu lapisan yang terdiri dari berbagai gas sampai setinggi kurang lebih 10 km di atas permukaan laut. Selubung ini disebut atmosfer, dan yang umumnya disebut udara adalah atmosfer di dekat permukaan bumi. Karena udara merupakan gas yang paling penting di antara yang lain, maka di sini akan diberikan beberapa sifatnya yang penting.

Seperti diketahui, udara terdiri dari campuran beberapa gas dengan susunannya seperti diberikan dalam Tabel 2.1. Secara kasar dapat dikatakan bahwa udara terdiri dari 1 bagian volume oksigen ( $O_2$ ) dan 4 bagian volume nitrogen ( $N_2$ ) yang tercampur secara seragam. Gas-gas yang lain terdapat dalam jumlah sangat sedikit. Selain itu terdapat juga uap air di dalam atmosfer.

**Tabel 2.1 Daftar komposisi udara.**

Komposisi udara	Nitrogen ( $N_2$ )	Oksigen ( $O_2$ )	Argon (Ar)	Karbon dioksida ( $CO_2$ )	Uap air, debu, minyak, dll
Perbandingan volume (%)	79,09	20,95	0,93	0,03	Sedikit
Perbandingan berat (%)	75,53	23,14	1,28	0,05	Sedikit

#### 2.1.2 Berat jenis udara

Berat jenis gas (termasuk udara) dapat bervariasi tergantung pada tekanan dan temperturnya. Karena itu untuk menyatakan berat jenis suatu gas harus disebutkan pula tekanan dan temperturnya. Dalam praktek ada dua macam kondisi seperti di bawah ini.

##### (1) Kondisi standar industri

Udara dengan kondisi ini mempunyai keadaan sebagai berikut:

Temperatur:  $20^\circ\text{C}$  ( $293^\circ\text{K}$ )

Tekanan mutlak: 760 mm Hg (0,1013 MPa)

Kelembaban relatif: 65%

Berat jenis:  $1,204 \text{ kgf/m}^3$  ( $11,807 \text{ N/m}^3$ )

Kondisi standar industri ini sering dipakai untuk menyatakan kondisi gas pada kompresor.

## (2) Kondisi normal terapan

Udara dengan kondisi ini mempunyai keadaan sebagai berikut:

Temperatur:  $15^{\circ}\text{C}$  ( $273^{\circ}\text{K}$ )

Tekanan mutlak: 760 mm Hg (0,1013 MPa)

Berat jenis:  $1,293 \text{ kg/m}^3$  ( $12,68 \text{ N/m}^3$ )

## 2.1.3 Panas jenis udara

Jumlah panas yang diperlukan untuk menaikkan temperatur 1 kg suatu zat sebesar  $1^{\circ}\text{C}$  disebut panas jenis. Adapun jumlah panas yang diperlukan untuk menaikkan suatu benda atau zat secara menyeluruh sebesar  $1^{\circ}\text{C}$  disebut kapasitas termal benda atau zat tersebut.

Satuan jumlah panas yang dipakai adalah kilo kalori (disingkat kcal), di mana 1 kcal sama dengan jumlah panas yang diperlukan untuk menaikkan temperatur 1 kg air sebesar  $1^{\circ}\text{C}$ . Maka satuan panas jenis menjadi  $\text{kcal}/(\text{kg}^{\circ}\text{C})$ . Dalam sistem SI, sebagai satuan panas dipakai kilo Joule (disingkat kJ) di mana  $1 \text{ kJ} = 0,2389 \text{ kcal}$  atau  $1 \text{ kcal} = 4,186 \text{ kJ}$ .

Panas jenis tergantung pada macam bahan seperti diuraikan di bawah ini.

## Panas jenis gas

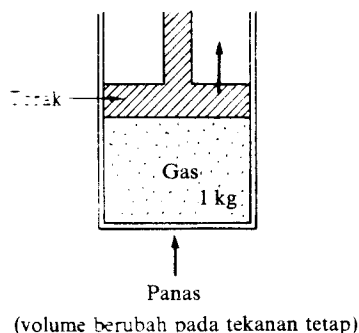
Panas jenis suatu gas juga didefinisikan sebagai jumlah panas yang diperlukan untuk menaikkan temperatur 1 gram gas tersebut sebesar  $1^{\circ}\text{C}$ , seperti pada zat-zat yang padat. Namun untuk gas ada dua macam panas jenis, yaitu: panas jenis pada tekanan tetap dan panas jenis pada temperatur tetap.

## (a) Panas jenis pada tekanan tetap

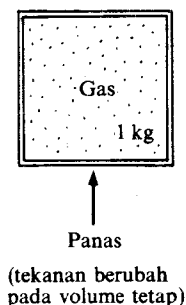
Jika suatu gas dipanaskan atau didinginkan pada tekanan tetap, maka volumenya akan membesar atau mengecil lebih banyak dari pada zat cair atau zat padat. Dalam Gb. 2.1 diperlihatkan 1 kg gas yang ditempatkan dalam silinder dengan torak yang dapat bergerak tanpa gesekan. Jika silinder dipanaskan maka gas akan mengembang mendorong torak ke atas sehingga tekanan di dalam silinder tidak berubah. Dalam hal demikian jumlah panas yang diperlukan untuk menaikkan temperatur 1 kg gas tersebut sebesar  $1^{\circ}\text{C}$  disebut panas jenis pada tekanan tetap. Panas jenis ini biasanya diberi lambang  $c_p$ , di mana untuk udara  $c_p = 0,24 \text{ kcal}/(\text{kg}^{\circ}\text{C}) = 1,005 \text{ kJ}/(\text{kg}^{\circ}\text{C})$ .

## (b) Panas jenis pada volume tetap

Jika 1 kg gas ditempatkan di dalam sebuah bejana tertutup (Gb. 2.2) lalu dipanas-



Gb. 2.1 Panas jenis pada tekanan tetap.



Gb. 2.2 Panas jenis pada volume tetap.

kan tanpa dapat berkembang maka tekanan dan temperaturnya akan naik. Jumlah panas yang diperlukan untuk menaikkan temperatur 1 kg gas ini sebesar 1°C dalam keadaan demikian disebut panas jenis pada volume tetap. Panas jenis ini biasanya diberi lambang  $c_v$ , di mana untuk udara  $c_v = 0,17 \text{ kcal/(kg } ^\circ\text{C)} = 0,712 \text{ kJ/(kg } ^\circ\text{C)}$ .

(c) Rasio panas jenis

Jika kedua panas jenis tersebut di atas diperbandingkan terlihat bahwa panas jenis pada tekanan tetap harganya lebih besar dari pada panas jenis pada volume tetap. Hal ini terjadi karena selain dipakai untuk menaikkan temperatur, sebagian panas yang diberikan dalam pemanasan pada tekanan tetap dipakai juga untuk melakukan kerja pada waktu gas mengembang.

Perbandingan antara panas jenis pada tekanan tetap dan panas jenis pada volume tetap biasa disebut rasio panas jenis yang diberi lambang  $k$ . Jadi  $k = c_p/c_v$ , di mana untuk udara kering  $k = 1,401$ . Rasio ini mempunyai peranan penting dalam perhitungan kompresi gas. Dalam Tabel 2.2 diberikan harga-harga  $k$ ,  $c_p$ , dan  $c_v$  untuk beberapa macam gas.

Tabel 2.2 Panas jenis beberapa gas.

Rumus molekul	Nama gas	Jumlah atom	Ⓐ Panas jenis pada tekanan tetap	Ⓑ Panas jenis pada volume tetap	Perbandingan panas jenis ( Ⓐ / Ⓑ )
Ar	Argon	1	0,1233	0,0746	1,667
He	Helium	1	1,2425	0,746	1,666
—	Udara	2	0,24	0,17	1,401
H <sub>2</sub>	Hidrogen	2	3,402	2,402	1,408
N <sub>2</sub>	Nitrogen	2	0,2350	0,175	1,41
O <sub>2</sub>	Oksigen	2	0,2419	0,173	1,40
H <sub>2</sub> O	Uap air	3	0,4765	0,340	1,305
CO <sub>2</sub>	Karbon dioksida	3	0,211	0,163	1,30
C <sub>2</sub> H <sub>2</sub>	Asetilin	4	0,402	0,323	1,24
C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> OH	Alkohol	9	0,435	0,400	1,13

#### 2.1.4 Kelembaban udara

(1) Udara jenuh

Jika sejumlah air mengisi sebuah bejana tertutup, maka dari permukaan bebasnya akan terjadi penguapan. Uap ini akan bercampur dengan udara di atas permukaan air tersebut. Penguapan ini tidak dapat berlangsung terus-menerus dan pada suatu saat akan berhenti karena ruangan di atas permukaan air sudah jenuh. Dalam keadaan seperti ini uap disebut uap jenuh, dan tekanannya disebut tekanan uap jenuh. Adapun udara yang bercampur dengan uap jenuh disebut udara jenuh.

Jumlah uap yang dapat menempati suatu ruang dengan volume tertentu serta tekanan jenuhnya tergantung pada temperatur uap tersebut. Makin tinggi temperaturnya makin tinggi pula tekanan jenuhnya dan makin banyak uap yang dapat mengisi volume yang sama.

Adapun jumlah uap yang terkandung di dalam udara lembab dapat dinyatakan dengan:

- 1) Jumlah uap jenuh (dalam gram) yang terkandung di dalam 1 m<sup>3</sup> udara lembab (udara yang mengandung uap air).
- 2) Jumlah uap air (dalam gram) yang terkandung di dalam 1 kg udara kering (udara yang tak mengandung uap air).
- 3) Tekanan uap (dalam mm Hg atau Pa)

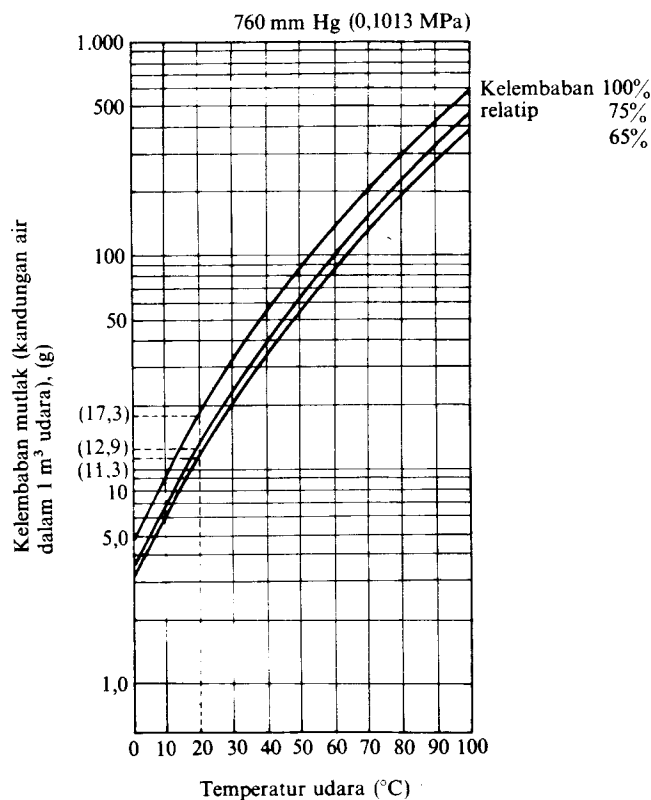
Tabel 2.3 Jumlah uap air jenuh dan tekanan uap air pada berbagai temperatur.

Temperatur		Jumlah uap air jenuh		Tekanan uap air jenuh	
°C	°K	g/m <sup>3</sup>	g/kg	mmHg	MPa
0	273	4,85	3,772	4,581	0,0006
1	273	9,4	7,625	9,205	0,0012
2	273	17,3	14,69	17,53	0,0023
3	273	30,4	27,18	31,83	0,0042
4	273	51,5	48,84	55,34	0,0074
5	273	83	86,25	92,56	0,0123
6	273	130	152,3	149,5	0,0199
7	273	198	276,3	233,8	0,0312
8	273	293	546	355,3	0,0474
9	273	423	1.397	525,9	0,0701
10	273	574	1.706	733,3	0,0977
11	273	597	—	760,0	0,1013

Dalam Tabel 2.3 diberikan angka-angka jumlah uap air jenuh serta tekanan jenuh uap air di dalam udara untuk berbagai temperatur.

#### 2 Udara tak jenuh dan udara lembab

Udara di mana uap air yang dikandungnya belum mencapai keadaan jenuh disebut udara tak jenuh. Udara yang mengandung uap air disebut udara lembab (tidak kering).



Gb. 2.3 Kelembaban mutlak (kandungan air) pada berbagai temperatur.

## (3) Kelembaban

Sejumlah uap air selalu terdapat di dalam atmosfer. Derajat kekenyangan atau kelembasan udara dalam atmosfer disebut kelembaban.

Kelembaban biasa dinyatakan menurut dua cara yaitu kelembaban mutlak dan kelembaban relatif.

- 1) Kelembaban mutlak adalah berat uap air (dalam kg atau g) di dalam 1 m<sup>3</sup> udara lembab.
- 2) Kelembaban relatif ialah perbandingan antara kelembaban mutlak udara lembab dan kelembaban mutlak udara jenuh pada temperatur yang sama, dan dinyatakan dalam %. Jadi

$$\text{Kelembaban relatif} = \frac{\text{Kelembaban mutlak udara lembab}}{\text{kelembaban mutlak udara jenuh pada temperatur yang sama}} \times 100\% \quad (2.1)$$

Selanjutnya, tekanan uap di dalam udara lembab adalah berbanding lurus dengan kelembaban mutlak dari uap yang sama. Karena itu kelembaban relatif dapat juga dinyatakan sebagai perbandingan antara tekanan uap pada temperatur tertentu di dalam udara lembab dan tekanan uap jenuh pada temperatur yang sama. Jadi

$$\text{Kelembaban relatif} = \frac{\text{Tekanan uap di dalam udara lembab pada suatu temperatur}}{\text{Tekanan uap jenuh pada temperatur yang sama}} \times 100\% \quad (2.2)$$

Kelembaban relatif sering kali dipakai dalam kehidupan sehari-hari, dan jika orang menyatakan kelembaban, biasanya yang dimaksud adalah kelembaban relatif ini.

### 2.1.5 Tekanan udara

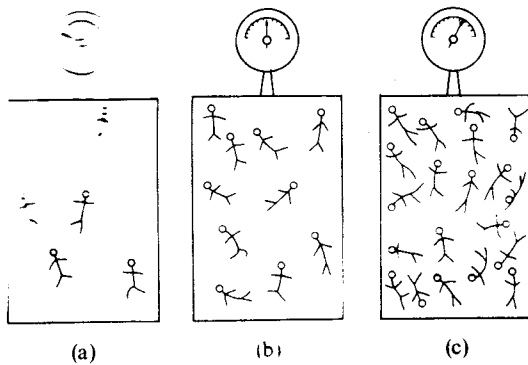
## (1) Tekanan gas

Jika suatu gas atau udara menempati suatu bejana tertutup maka pada dinding bejana tersebut akan bekerja suatu gaya. Gaya ini per satuan luas dinding disebut tekanan.

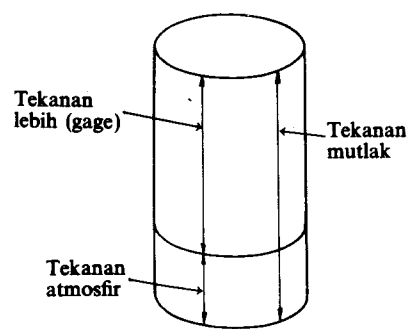
Menurut teori ilmu fisika, gas terdiri dari molekul-molekul yang bergerak terus-menerus secara sembarang. Karena gerakan ini, dinding bejana yang ditempati akan mendapat tumbukan terus-menerus pula dari banyak molekul. Tumbukan inilah yang dirasakan sebagai tekanan pada dinding.

Jika temperatur gas dinaikkan, maka gerakan molekul-molekul akan menjadi semakin cepat. Dengan demikian tumbukan pada dinding akan menjadi semakin sering dan dengan impuls yang semakin besar. Jadi meskipun volume bejana tetap, tekanan pada dinding akan menjadi lebih besar.

Peristiwa ini dengan mudah dapat dimengerti jika diperhatikan Gb. 2.4. Dalam gambar (a) diperlihatkan bejana berisi gas bertemperatur rendah di mana tumbukan pada dinding tidak begitu banyak. Jika temperatur dinaikkan dengan volume tetap, tumbukan pada dinding akan semakin banyak, sehingga tekanan akan naik. Pada (b) diperlihatkan keadaan di mana volume bejana diperkecil sedangkan jumlah gas tetap ada di dalamnya tetap seperti semula. Di sini ruangan menjadi lebih padat, sedangkan luas dinding berkurang. Maka tumbukan yang terjadi per satuan luas dinding akan semakin besar hingga tekanannya juga akan naik. Selain dari pada itu, pemampatan ini juga berarti penambahan energi kepada gas maka gerakan molekul menjadi lebih cepat, yang berarti temperaturnya akan naik.



Gb. 2.4 Molekul dan tekanan gas.



Gb. 2.5 Tekanan mutlak dan tekanan lebih.

## (2) Tekanan atmosfer

Tekanan atmosfer yang bekerja di permukaan bumi dapat dipandang sebagai berat kolom udara mulai dari permukaan bumi sampai batas atmosfer yang paling atas. Untuk kondisi standar, gaya berat kolom udara ini pada setiap  $1 \text{ cm}^2$  luas permukaan bumi adalah 1,033 kgf. Dengan perkataan lain dapat dinyatakan bahwa tekanan

$$1 \text{ atmosfer (1 atm)} = 1,033 \text{ kgf/cm}^2 = 0,1013 \text{ MPa}$$

Tekanan atmosfer juga biasa dinyatakan dalam tinggi kolom air raksa (mm Hg), di mana

$$1 \text{ atm} = 760 \text{ mmHg}$$

## (3) Tekanan mutlak dan tekanan lebih

Untuk menyatakan besarnya tekanan gas (atau zat cair) dalam suatu ruangan atau pipa biasanya dipakai satuan  $\text{kgf/cm}^2$  atau Pa (Pascal). Dasar yang dipakai sebagai harga nol dalam mengukur atau menyatakan tekanan ada dua macam.

1. Jika harga nol diambil sama dengan tekanan atmosfer, maka tekanan yang diukur disebut tekanan lebih (gage pressure).
2. Jika harga nol diambil sama dengan tekanan vakum mutlak maka tekanan disebut tekanan mutlak.

Antara tekanan mutlak dan tekanan lebih terdapat hubungan sebagai berikut:

$$\text{Tekanan mutlak} = \text{tekanan lebih} + \text{tekanan atmosfer.} \quad (2.3)$$

Hubungan ini digambarkan dalam Gb. 2.5.

Dalam penulisan satuan tekanan biasanya perlu ditambahkan keterangan apakah harga yang dimaksud merupakan tekanan mutlak atau tekanan absolut. Jika yang dimaksud adalah tekanan lebih, maka penulisan satuannya dapat dilakukan misalnya sebagai berikut:  $\text{kgf/cm}^2$  (g) atau Pa (g), di mana g merupakan singkatan dari gage. Jika yang dimaksud adalah tekanan mutlak, dapat ditulis sebagai:  $\text{kgf/cm}^2$  (abs) atau Pa (abs) di mana abs. merupakan singkatan dari absolut atau mutlak.

Dalam praktek biasanya orang memakai tekanan lebih, sedang tekanan mutlak dipakai dalam teori.

## (4) Tabel konversi tekanan

Tekanan dapat dinyatakan dalam berbagai satuan. Dalam praktek seringkali diperlukan untuk mengubah harga tekanan dalam suatu satuan menjadi harga dalam satuan lainnya. Untuk memudahkan perhitungan dapat dipergunakan Tabel 2.4 yang memberikan faktor-faktor konversi berbagai satuan tekanan.



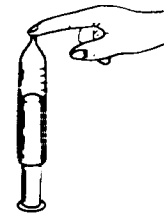
Tabel 2.4 Daftar konversi tekanan.

Tekanan	Pa	bar	kgf/cm <sup>2</sup>	atm	mmHg	mmHg
	1	$1 \times 10^{-5}$	$1,019\ 72 \times 10^{-5}$	$9,869\ 23 \times 10^{-6}$	$1,019\ 72 \times 10^{-1}$	
	$1 \times 10^5$	1	1,019 72	$9,869\ 23 \times 10^{-1}$	$1,019\ 72 \times 10^4$	
	$9,806\ 65 \times 10^4$	$9,806\ 65 \times 10^{-1}$	1	$9,678\ 41 \times 10^{-1}$	$1,000\ 0 \times 10^4$	
	$1,013\ 25 \times 10^5$	1,013 25	1,033 23	1	$1,033\ 23 \times 10^4$	
	9,806 65	$9,806\ 65 \times 10^{-5}$	$1,000\ 0 \times 10^{-4}$	$9,678\ 41 \times 10^{-5}$	1	
	$1,333\ 22 \times 10^2$	$1,333\ 22 \times 10^{-3}$	$1,359\ 51 \times 10^{-3}$	$1,315\ 79 \times 10^{-3}$	$1,359\ 51 \times 10$	

## 2.2 Teori Kompresi

### 2.2.1 Hubungan antara tekanan dan volume

Jika sebuah alat penyuntik tanpa jarum dan berisi udara atau gas (Gb. 2.6) ditutup ujungnya dengan jari telunjuk dan tangkainya didorong dengan ibu jari, maka pada jari telunjuk akan terasa adanya tekanan yang bertambah besar. (Hal yang sama juga dapat dilakukan dengan pompa sepeda). Bertambahnya tekanan tersebut adalah merupakan akibat dari mengecilnya volume udara di dalam silinder karena dimampatkan oleh torak. Jika volume semakin dikecilkan, tekanan akan semakin besar.



Gb. 2.6 Kompresi.

Hubungan antara tekanan dan volume gas dalam proses kompresi tersebut dapat diuraikan sebagai berikut. Jika selama kompresi, temperatur gas dijaga tetap (tidak bertambah panas) maka pengecilan volume menjadi 1/2 kali akan menaikkan tekanan menjadi 2 kali lipat. Demikian pula jika volume menjadi 1/3 kali, tekanan akan menjadi 3 kali lipat, dst. Jadi secara umum dapat dikatakan sebagai berikut: "Jika gas dikompresikan (atau diekspansikan) pada temperatur tetap, maka tekanannya akan berbanding terbalik dengan volumenya". Pernyataan ini disebut hukum Boyle dan dapat dirumuskan pula sebagai berikut: Jika suatu gas mempunyai volume  $V_1$  dan tekanan  $P_1$  dimampatkan (atau diekspansikan) pada temperatur tetap hingga volumenya menjadi  $V_2$ , maka tekanannya akan menjadi  $P_2$  di mana

$$P_1 V_1 = P_2 V_2 = \text{tetap} \quad (2.4)$$

Di sini tekanan dapat dinyatakan dalam kgf/cm<sup>2</sup> (atau Pa) dan volume dalam m<sup>3</sup>.

### 2.2.2 Hubungan antara temperatur dan volume

Seperti halnya pada zat padat dan zat cair, gas akan mengembang jika dipanaskan pada tekanan tetap. Dibandingkan dengan zat padat dan zat cair, gas mempunyai koefisien muai yang jauh lebih besar. Dari pengukuran koefisien muai berbagai gas diperoleh kesimpulan sebagai berikut: "Semua macam gas apabila dinaikkan temperaturnya sebesar 1°C pada tekanan tetap, akan mengalami pertambahan volume sebesar 1/273 dari volumenya pada 0°C. Sebaliknya apabila diturunkan temperaturnya sebesar 1°C, akan mengalami pengurangan volume dengan proporsi yang sama".

Pernyataan di atas disebut hukum Charles. Hukum ini dapat dirumuskan pula sebagai berikut. Jika suatu gas pada 0°C mempunyai volume sebesar  $V_0$ , maka pada temperatur  $t_1$ °C untuk tekanan yang sama gas tersebut akan mempunyai volume  $V_1$  di mana

$$V_1 = V_0 - \frac{1}{273} \cdot t_1 \cdot V_0 = V_0 \left( 1 + \frac{t_1}{273} \right) \quad (2.5)$$

Pada temperatur  $t_2$  °C untuk tekanan yang sama pula gas mempunyai volume

$$V_2 = V_0 \left( 1 + \frac{t_2}{273} \right) \quad (2.6)$$

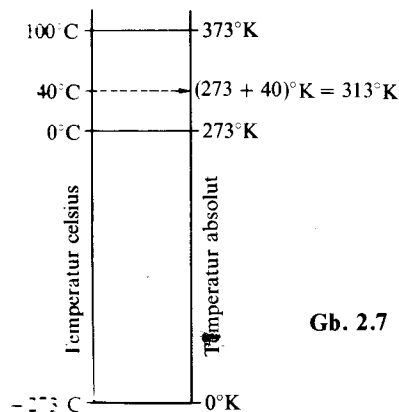
Jika Pers. (2.5) dibagi dengan Pers. (2.6) didapat

$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{273 + t_1}{273 + t_2} \quad (2.7)$$

Lambang  $t$  menyatakan temperatur dalam skala °C (Celcius). Skala ini mempunyai harga 0° pada titik beku air dan harga 100° pada titik didih air pada tekanan 1 atmosfir. Di samping skala Celcius, orang dapat memakai skala Kelvin (°K) di mana 0°K = -273° C dan 273°K = 0° C. Temperatur yang didasarkan pada skala °K ini disebut temperatur mutlak dengan lambang  $T$ . Adapun hubungan antara  $t$  dan  $T$  dapat dituliskan sebagai berikut:

$$T(^{\circ}\text{K}) = 273 + t(^{\circ}\text{C}) \quad (2.8)$$

Dalam Gambar 2.7 digambarkan hubungan antara skala °K dan °C.



Gb. 2.7 Hubungan antara temperatur celsius dan temperatur mutlak.

Jika temperatur dinyatakan dalam temperatur mutlak (°K), maka Pers. 2.7 dapat ditulis sebagai berikut:

$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{T_1}{T_2} \quad (2.9)$$

Jadi, menurut Pers. 2.9 hukum Charles dapat pula dikatakan sebagai berikut: "Pada proses tekanan tetap, volume gas berbanding lurus dengan temperatur mutlaknya".

### 2.2.3 Persamaan keadaan

Hukum Boyle dan hukum Charles dapat digabungkan menjadi hukum Boyle-Charles yang dapat dinyatakan sebagai

$$PV = GRT \quad (2.10)$$

di mana  $P$ : Tekanan mutlak (kgf m<sup>2</sup>) atau Pa

$V$ : Volume ( $\text{m}^3$ )

$G$ : Berat gas (kgf) atau (N)

$T$ : Temperatur mutlak ( $^{\circ}\text{K}$ )

$R$ : Konstanta gas ( $\text{m}^3/\text{K}$ )

Konstanta gas  $R$  besarnya tetap untuk suatu gas tertentu. Harga  $R$  ini berbeda-beda untuk masing-masing gas. Untuk udara kering (pada tekanan 760 mm Hg dan temperatur  $0^{\circ}\text{C}$ ) harga  $R = 29,27 \text{ m}^3/\text{K}$ . Untuk udara lembab dengan kelembaban relatif 65%, pada 760 mm Hg dan  $20^{\circ}\text{C}$ , harga  $R = 29,46$ . Harga ini lebih biasa dipakai untuk perhitungan kompresor karena lebih mendekati kondisi udara yang diisap kompresor pada umumnya. Dalam Tabel 2.5 diberikan harga-harga  $R$  untuk berbagai gas yang penting

Tabel 2.5 Konstanta gas dari beberapa gas.

Gas Konstanta gas	Udara 760 mmHg {0,1013 MPa}		Oksigen ( $\text{O}_2$ )	Nitrogen ( $\text{N}_2$ )	Hidrogen ( $\text{H}_2$ )	Karbon dioksida ( $\text{CO}_2$ )
	Kering ( $0^{\circ}\text{C}$ )	Lembab ( $20^{\circ}\text{C}$ )				
$R \text{ (m}^3/\text{K)}$	29,27	29,46	26,50	30,26	420,6	19,27

Pers. (2.10) dapat pula ditulis secara lain sbb.

$$Pv = RT \quad (2.11)$$

di mana  $v = V/G$  adalah volume spesifik ( $\text{m}^3/\text{kgf}$ ) atau ( $\text{m}^3/\text{N}$ ). Karena  $v = 1/\gamma$ , di mana  $\gamma$  = berat jenis ( $\text{kgf}/\text{m}^3$  atau  $\text{N}/\text{m}^3$ ) maka Pers. (2.11) dapat pula ditulis sebagai

$$\frac{P}{\gamma} = RT \quad (2.12)$$

Pers. (2.11) dapat pula ditulis sebagai berikut

$$\frac{Pv}{T} = R = \text{tetap}$$

Gas yang memenuhi persamaan ini disebut gas ideal.

## 2.3 Proses Kompresi Gas

### 2.3.1 Cara kompresi

Kompresi gas dapat dilakukan menurut tiga cara yaitu dengan proses isothermal, adiabatik, dan politropik. Adapun perilaku masing-masing proses ini dapat diuraikan sebagai berikut.

#### (1) Kompresi isothermal

Bila suatu gas dikompresikan, maka ini berarti ada energi mekanik yang diberikan dari luar kepada gas. Energi ini diubah menjadi energi panas sehingga temperatur gas akan naik jika tekanan semakin tinggi. Namun, jika proses kompresi ini dibarengi dengan pendinginan untuk mengeluarkan panas yang terjadi, temperatur dapat dijaga tetap. Kompresi secara ini disebut kompresi isothermal (temperatur tetap). Hubungan antara  $P$  dan  $v$  dapat diperoleh dari Pers. (2.11). Untuk  $T = \text{tetap}$  persamaan tersebut menjadi

$$Pv = \text{tetap}$$

Persamaan ini dapat ditulis sebagai

$$P_1 v_1 = P_2 v_2 = \text{tetap} \quad (2.13)$$

yang ekuivalen dengan Pers (2.4).

Kompresi isoterma merupakan suatu proses yang sangat berguna dalam analisa teoritis, namun untuk perhitungan kompresor tidak banyak kegunaannya. Pada kompresor yang sesungguhnya, meskipun silinder didinginkan sepenuhnya, adalah tidak mungkin untuk menjaga temperatur udara yang tetap di dalam silinder. Hal ini disebabkan oleh adanya proses kompresi (beberapa ratus sampai seribu kali per menit) di dalam silinder.

## (2) Kompresi adiabatik

Jika silinder diisolasi secara sempurna terhadap panas, maka kompresi akan berlangsung tanpa ada panas yang keluar dari gas atau masuk ke dalam gas. Proses semacam ini disebut adiabatik.

Dalam praktek, proses adiabatik tidak pernah terjadi secara sempurna karena isolasi terhadap silinder tidak pernah dapat sempurna pula. Namun proses adiabatik sering dipakai dalam pengkajian teoritis proses kompresi.

Hubungan antara tekanan dan volume dalam proses adiabatik dapat dinyatakan dengan persamaan

$$P v^k = \text{tetap}$$

atau

$$P_1 v_1^k = P_2 v_2^k = \text{tetap} \quad (2.14)$$

di mana  $k = c_p/c_v$ . (Lihat butir 2.1.3).

Jika rumus ini dibandingkan dengan rumus kompresi isoterma dapat dilihat bahwa untuk pengecilan volume yang sama, kompresi adiabatik akan menghasilkan tekanan yang lebih tinggi dari pada proses isoterma. Sebagai contoh, jika volume diperkecil menjadi 1/2, maka tekanan pada kompresi adiabatik akan menjadi 2,64 kali lipat, sedangkan pada kompresi isoterma hanya menjadi 2 kali lipat.

Karena tekanan yang dihasilkan oleh kompresi adiabatik lebih tinggi dari pada kompresi isoterma untuk pengecilan volume yang sama, maka kerja yang diperlukan pada kompresi adiabatik juga lebih besar.

## 3 Kompresi politropik

Kompresi pada kompresor yang sesungguhnya bukan merupakan proses isoterma, karena ada kenaikan temperatur, namun juga bukan proses adiabatik karena ada panas yang dipancarkan keluar. Jadi proses kompresi yang sesungguhnya, ada di antara keduanya dan disebut kompresi politropik. Hubungan antara  $P$  dan  $v$  pada proses politropik dapat dituliskan sebagai

$$P v^n = \text{tetap}$$

atau

$$P_1 v_1^n = P_2 v_2^n = \text{tetap} \quad (2.15)$$

Di sini  $n$  disebut indeks politropik dan harganya terletak antara 1 (proses isoterma) dan  $k$  (proses adiabatik). Jadi:  $1 < n < k$ . Untuk kompresor biasa,  $n = 1,25 \sim 1,35$ .

Dari rumus ini, dengan  $n = 1,25$ , pengecilan volume sebesar  $v_2/v_1 = 1/2$  misalnya, akan menaikkan tekanan menjadi 2,38 kali lipat. Harga ini terletak antara 2,0 (untuk kompresi isoterma) dan 2,64 (untuk kompresi adiabatik).

Tabel 2.6 Hubungan antara volume dan tekanan pada berbagai proses kompresi.

Tekanan Volume	Kompresi isotermik	$n = 1,25$ Kompresi politropik	Kompresi adiabatik	
1	1	1	1	
1/2	2	2,38	2,64	
1/3	3	3,95	4,66	
1/4	4	5,96	6,97	
1/5	5	7,5	9,09	
1/6	6	9,4	12,3	
1/7	7	11,4	15,1	
1/8	8	13,5	18,4	
1/9	9	15,6	21,7	
1/10	10	17,8	25,1	
1/11	11	20,0	28,8	

Catatan: Tekanan yang dinyatakan di atas adalah tekanan mutlak.

### 2.3.2 Perubahan temperatur

Pada waktu kompresi, temperatur gas dapat berubah tergantung pada jenis proses yang dialami. Untuk masing-masing proses, hubungan antara temperatur dan tekanan adalah sebagai berikut.

#### (1) Proses isothermal

Seperti telah disinggung di muka, dalam proses ini temperatur dijaga tetap sehingga tidak berubah.

#### (2) Proses adiabatik

Dalam kompresi adiabatik tidak ada panas yang dibuang keluar silinder (atau dimasukkan) sehingga seluruh kerja mekanis yang diberikan dalam proses ini akan dipakai untuk menaikkan temperatur gas.

Temperatur yang dicapai oleh gas yang keluar dari kompresor dalam proses adiabatik dapat diperoleh secara teoritis dari rumus berikut:

$$T_d = T_s \left( \frac{P_d}{P_s} \right)^{(k-1)/mk}$$

di mana,  $T_d$ : Temperatur mutlak gas keluar kompresor ( $^{\circ}\text{K}$ )

$T_s$ : Temperatur isap gas masuk kompresor ( $^{\circ}\text{K}$ )

$m$ : Jumlah tingkat kompresi;  $m = 1, 2, 3, \dots$ . (Untuk  $m > 1$ , rumus tersebut mencakup proses pendinginan pada pendingin antara (intercooling), sehingga proses kompresi keseluruhan dari  $P_s$  menjadi  $P_d$  bukan proses adiabatik murni).

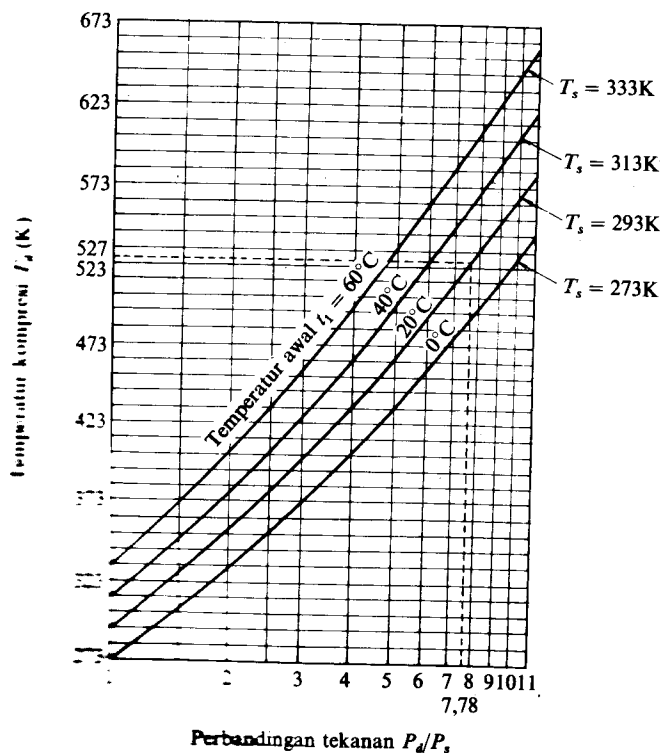
$$P_d/P_s = \frac{\text{Tekanan keluar mutlak}}{\text{Tekanan isap mutlak}} = \text{Perbandingan tekanan}$$

$k = \gamma$ , perbandingan panas jenis gas

Dengan kompresor, tekanan keluar  $P_d$  dapat dicapai dengan satu tingkat kompresi (pada kompresor satu tingkat) atau dengan beberapa tingkat kompresi (pada kompresor bertingkat banyak). Pada kompresor bolak-balik, untuk kompresi satu tingkat digunakan satu silinder, dan untuk kompresi bertingkat banyak digunakan beberapa silinder. Untuk kompresor 2-tingkat misalnya, gas yang telah dikompresikan dan dikeluarkan dari silinder pertama, disalurkan lebih lanjut ke sisi isap silinder kedua, dikompresikan untuk kedua kalinya, lalu dikeluarkan. Pada kompresor 3-tingkat, gas yang keluar dari silinder kedua dimasukkan ke silinder ketiga lalu dikompresikan dan dikeluarkan. Cara kerja yang sama juga berlaku pada kompresor-kompresor dengan jumlah tingkat yang lebih banyak.

Kompresor bertingkat digunakan untuk memperoleh perbandingan tekanan  $P_d/P_s$  yang tinggi. Kompresi dengan perbandingan kompresi yang besar, jika dilakukan hanya dengan satu tingkat akan kurang efektif karena efisiensi volumetriknya menjadi rendah. (lihat Tabel 2.4). Namun jika jumlah tingkat terlalu banyak, kerugian gesek menjadi terlalu besar dan harga kompresor menjadi mahal. Karena itu untuk tekanan sampai 7 atm dilakukan kompresi dalam 1 atau 2 tingkat, dan untuk tekanan sampai 10 atm dilakukan dalam 3 tingkat.

Perbandingan 2.16 secara grafis ditunjukkan dalam Gb. 2.8.



Gb. 2.8 Perbandingan tekanan dan temperatur kompresi dalam kompresi adiabatik (untuk  $n = 1$  dalam kompresi satu tingkat).

## (3) Proses politropik

Jika selama proses kompresi udara didinginkan, misalnya dengan memakai air pendingin untuk silinder, maka sebagian panas yang timbul akan dikeluarkan. Untuk menghitung temperatur kompresi dapat digunakan Pers. 2.16 di mana sebagai ganti  $k$  dipakai indeks politropik yang harganya lebih rendah.

Temperatur pada kompresor yang sesungguhnya, tergantung pada ukuran dan jenisnya, dan biasanya diusahakan serendah-rendahnya.

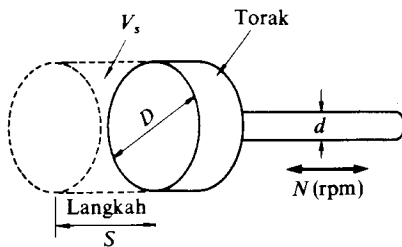
## 2.4 Efisiensi Volumetrik Dan Adiabatik

Dalam proses kompresi pada kompresor terdapat dua macam efisiensi yang penting, yaitu efisiensi volumetrik dan efisiensi adiabatik keseluruhan. Arti kedua macam efisiensi tersebut dapat diterangkan seperti di bawah ini.

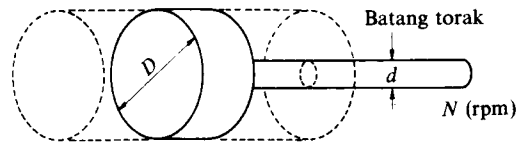
### 2.4.1 Efisiensi volumetrik

Perhatikan sebuah kompresor torak dengan diameter silinder  $D$  (m), langkah torak  $S$  (m), dan putaran  $N$  (rpm) seperti diperlihatkan dalam Gb. 2.9(a). Dengan ukuran seperti ini kompresor akan memampatkan volume gas sebesar  $V_s = (\pi/4)D^2 \times S$  ( $\text{m}^3$ ) untuk setiap langkah kompresi yang dikerjakan dalam setiap putaran poros engkol. Jumlah volume gas yang dimampatkan per menit disebut perpindahan torak. Jadi jika poros kompresor mempunyai putaran  $N$  (rpm) maka

$$\text{Perpindahan torak} = V_s \times N = \frac{\pi}{4}D^2 \times S \times N \quad (\text{m}^3/\text{min}) \quad (2.17)$$



(a) Langkah torak untuk kerja tunggal



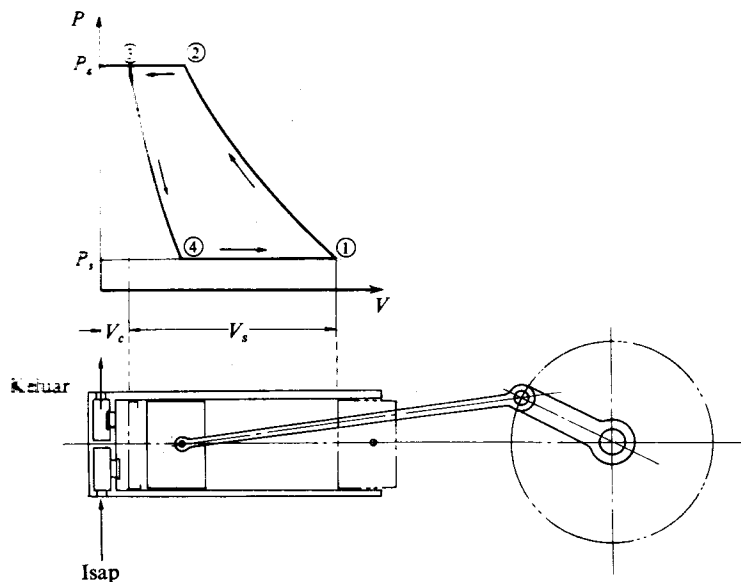
(b) Langkah torak untuk kerja ganda

Gb. 2.9 Langkah torak.

Rumus di atas hanya berlaku untuk kompresor kerja tunggal. Kompresor ini hanya menggunakan ruang di sisi kiri torak (Gb. 2.9(a)) untuk bekerja memampatkan udara.

Pada kompresor torak kerja ganda, pemampatan gas terjadi bukan hanya pada waktu torak bergerak ke kiri, tetapi juga pada waktu torak bergerak ke kanan, karena ruang di sebelah kanan torak berlaku juga sebagai kompresor (Gb. 2.9(b)). Luas penampang efektif silinder di sebelah kanan torak adalah  $\pi/4(D^2 - d^2)$ , di mana  $d$  (m) adalah diameter batang torak. Dengan demikian untuk kompresor yang bekerja ganda berlaku rumus sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \text{Perpindahan torak} &= \frac{\pi}{4}D^2SN + \frac{\pi}{4}(D^2 - d^2)SN \\ &= \frac{\pi}{4}(2D^2 - d^2)SN, \quad (\text{m}^3/\text{min}) \end{aligned} \quad (2.18)$$

Gb. 2.10 Diagram  $P$ - $V$  dari kompresor.

Perpindahan torak menyatakan kemampuan teoritis torak menghasilkan volume gas tiap menit. Namun dalam kompresor yang sesungguhnya volume gas yang dikeluarkan adalah lebih kecil dari pada perpindahan torak. Hal ini dapat diterangkan sebagai berikut.

Seperti dilukiskan dalam Gb. 2.10 torak memulai langkah kompresinya pada titik 2 dalam diagram  $P$ - $V$ ). Torak bergerak ke kiri dan gas dimampatkan hingga tekanannya naik ke titik ②. Pada titik ini tekanan di dalam silinder mencapai harga tekanan  $P_2$  yang lebih tinggi dari pada tekanan di dalam pipa keluar (atau tangki tekan), sehingga katup keluar pada kepala silinder akan terbuka. Jika torak bergerak terus ke kanan gas akan didorong keluar silinder pada tekanan tetap sebesar  $P_2$ . Di titik ③ torak mencapai titik mati atas, yaitu titik akhir gerakan torak pada langkah kompresi dan pengisian.

Pada waktu torak mencapai titik mati atas ini, antara sisi atas torak dan kepala silinder masih ada volume sisa yang besarnya  $= V_c$ . Volume ini idealnya harus sama dengan nol agar gas dapat didorong seluruhnya keluar silinder tanpa sisa. Namun dalam praktik harus ada jarak (clearance) di atas torak agar torak tidak membentur kepala silinder. Selain itu juga harus ada lubang-lubang laluan pada katup-katup.

Karena adanya volume sisa ini ketika torak mengakhiri langkah kompresinya di atas torak masih ada sejumlah gas dengan volume sebesar  $V_c$  dan tekanan sebesar  $P_2$ . Jika kemudian torak memulai langkah isapnya (bergerak ke kanan), katup isap tidak dapat terbuka sebelum sisa gas di atas torak berekspansi sampai tekanannya turun dari  $P_2$  menjadi  $P_1$ . Dalam Gb. 2.10 katup isap baru mulai terbuka di titik (4) ketika tekanan sudah mencapai tekanan isap  $P_1$ . Di sini pemasukan gas baru mulai terjadi dan proses pengisian ini berlangsung sampai titik mati bawah ①.

Dari uraian di atas dapat dilihat bahwa volume gas yang diisap tidak sebesar volume langkah torak sebesar  $V_s$  melainkan lebih kecil, yaitu hanya sebesar volume isap antara titik mati bawah ① dan titik ③.

Adapun efisiensi volumetris  $\eta_v$  didefinisikan sebagai



$$\eta_v = \frac{Q_s}{Q_{th}}$$

di mana  $Q_s$ : Volume gas yang dihasilkan, pada kondisi tekanan dan temperatur isap ( $\text{m}^3/\text{min}$ )

$Q_{th}$ : Perpindahan torak ( $\text{m}^3/\text{min}$ )

Besarnya efisiensi volumetris ini dapat dihitung secara teoritis berdasarkan volume gas yang dapat diisap secara efektif oleh kompres pada langkah isapnya, seperti telah diuraikan di atas. Dari perhitungan tersebut diperoleh rumus yang dapat ditulis sbb:

$$\eta_v \approx 1 - \varepsilon \left\{ \left( \frac{P_d}{P_s} \right)^{1/n} - 1 \right\} \quad (2.19)$$

di mana  $\varepsilon$ :  $V_c/V_s$ , volume sisa (clearance) relatif.

$P_d$ : Tekanan keluar dari silinder tingkat pertama ( $\text{kgf}/\text{cm}^2$  abs),

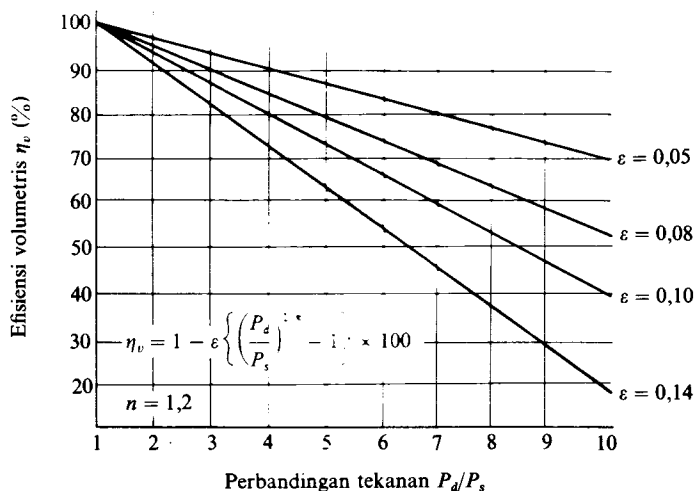
$P_s$ : Tekanan isap dari silinder tingkat pertama ( $\text{kgf}/\text{cm}^2$  abs).

$n$ : Koefisien ekspansi gas yang tertinggal di dalam volume sisa: untuk udara,  $n = 1,2$ .

Tanda  $\approx$  berarti "kira-kira sama dengan", karena rumus (2.19) diperoleh dari perhitungan teoritis. Adapun harga  $\eta_v$  yang sesungguhnya adalah sedikit lebih kecil dari harga yang diperoleh dari rumus di atas karena adanya kebocoran melalui cincin torak dan katup-katup, serta tahanan pada katup-katup.

Dalam Gb. 2.11 diperlihatkan pengaruh  $\varepsilon$  dan  $P_d/P_s$  pada efisiensi volumetris  $\eta_v$ .

Sehubungan dengan hal-hal di atas dapat dimengerti jika efisiensi volumetris juga tergantung pada faktor-faktor rancangan kompresor seperti bentuk dan ukuran silinder, serta bentuk, ukuran, dan susunan katup-katup.



Gb. 2.11 Efisiensi volumetris dan perbandingan tekanan.

#### 2.4.2 Efisiensi adiabatik keseluruhan

Efisiensi kompresor ditentukan oleh berbagai faktor seperti tahanan aerodinamik di dalam katup-katup, saluran-saluran, pipa-pipa, kerugian mekanis, efektivitas pen-

dinginan, dll. Namun, menentukan secara tepat pengaruh masing-masing faktor tersebut adalah sangat sulit. Karena itu faktor-faktor ini digabungkan dalam efisiensi adiabatik keseluruhan.

Efisiensi adiabatik keseluruhan didefinisikan sebagai daya yang diperlukan untuk memampatkan gas dengan siklus adiabatik (menurut perhitungan teoritis), dibagi dengan daya yang sesungguhnya diperlukan oleh kompresor pada porosnya. Dalam rumus, efisiensi ini dapat ditulis sbb:

$$\eta_{ad} = \frac{L_{ad}}{L_s} \quad (2.20)$$

di mana  $\eta_{ad}$  Efisiensi adiabatik keseluruhan (biasanya dinyatakan dalam %),

$L_{ad}$  Daya adiabatik teoritis (kW)

$L_s$  Daya yang masuk pada poros kompresor (kW).

Sebelum daya adiabatik teoritis dapat dihitung dengan rumus

$$L_{ad} = \frac{mk}{k-1} \frac{P_s Q_s}{6120} \left[ \left( \frac{P_d}{P_s} \right)^{(k-1)/mk} - 1 \right], \quad (\text{kW}) \quad (2.21a)$$

$P_s$  Tekanan isap tingkat pertama (kgf/m<sup>2</sup> abs)

$P_d$  Tekanan keluar dari tingkat terakhir (kgf/m<sup>2</sup> abs)

$Q_s$  Jumlah volume gas yang keluar dari tingkat terakhir (m<sup>3</sup>/min) dinyatakan pada kondisi tekan dan temperatur isap

$k$   $\gamma$

$m$  Jumlah tingkat kompresi; lihat keterangan pada Pers. (2.16).

Dalam rumus ini dipakai satuan tekanan Pa maka Pers. (2.21) ditulis sebagai

$$L_{ad} = \frac{mk}{k-1} \frac{P_s Q_s}{60000} \left[ \left( \frac{P_d}{P_s} \right)^{(k-1)/mk} - 1 \right], \quad (\text{kW}) \quad (2.21b)$$

Dalam Tabel 2.7 diberikan harga-harga daya adiabatik teoritis yang diperlukan untuk mengkompresikan 1 m<sup>3</sup>/min udara dengan kondisi standar sebagai hasil perhitungan berdasarkan rumus di atas. Dari tabel terlihat bahwa daya yang diperlukan untuk kompresi 2 tingkat harganya lebih kecil dari pada kompresi 1 tingkat. Harga yang lebih rendah ini diperoleh pada kompresor 2 tingkat yang menggunakan pendingin antara tingkat-tingkat di antara tingkat pertama dan tingkat ke dua. Penggunaan pendingin antara akan memperkecil kerja kompresi. Jika tidak digunakan pendingin antara, maka daya yang diperlukan untuk kompresi 2 tingkat adalah sama besarnya dengan daya untuk tingkat pada perbandingan tekanan yang sama.

Sebagai contoh, dari Tabel 2.7 terbaca bahwa untuk kompresi 1 tingkat sampai 7 kgf/cm<sup>2</sup> g (atau 8,166 kgf/cm<sup>2</sup> abs, diperlukan daya sebesar 4,7074 kW. Ini diperoleh dari Pers. (2.21a) dengan mengambil harga  $k = 1,4$  dan  $m = 1$ . Daya sebesar 4,7074 kW tersebut juga akan diperlukan untuk kompresi 2 tingkat tanpa pendingin antara. Namun jika digunakan pendingin antara maka daya yang diperlukan menjadi sebesar 4,0227 kW. Harga ini dapat diperoleh dari Pers. (2.21a) jika diambil  $k = 1,4$  dan  $m = 2$ .

Selanjutnya efisiensi adiabatik keseluruhan dapat dihitung menurut contoh sebagai berikut. Seandainya untuk sebuah kompresor 2 tingkat yang memampatkan udara menjadi 7 kgf/cm<sup>2</sup> g diperlukan daya poros sebesar 5,4 kW, maka dengan daya adiabatik teoritis sebesar 4,022 kW, kompresi ini mempunyai efisiensi adiabatik keseluruhan sebesar

$$\eta_{ad} = \frac{L_{ad}}{L_s} = \frac{4,022 \text{ kW}}{5,4 \text{ kW}} = 0,745 = 74,5\%$$

Tabel 2.7 Daya yang diperlukan untuk kompresi adiabatik teoritis.

Tekanan (kgf/cm <sup>2</sup> (G))	Kompresi 1-tingkat (kW)	Kompresi 2-tingkat (kW)	Tekanan (kgf/cm <sup>2</sup> (G))	Kompresi 2-tingkat (kW)
0,5	0,7053		11	4,9634
1	1,2608		12	5,1563
1,5	1,7256		13	5,3365
2	2,1288		14	5,5060
2,5	2,4869		15	5,6661
3	2,8105		16	5,8178
3,5	3,1065		17	5,9621
4	3,3801	2,9994	18	6,0997
4,5	3,6348	3,2012	19	6,2313
5	3,8736	3,3879	20	6,3573
5,5	4,0987	3,5618	21	6,4783
6	4,3118	3,7247	22	6,5947
6,5	4,5143	3,8779	23	6,7068
7	4,7074	4,0227	24	6,8150
7,5	4,8922	4,1599	25	6,9195
8	5,0693	4,2904	26	7,0215
8,5	5,2396	4,4148	27	7,1195
9	5,4036	4,5338	28	7,1246
9,5	5,5619	4,6477	29	7,3069
10	5,7149	4,7572	30	7,3965

Catatan: Daya yang dinyatakan di atas adalah daya kompresi adiabatik teoritis untuk setiap m<sup>3</sup>/menit udara bebas. 1 kgf/cm<sup>2</sup> = 0,0980665 MPa. G berarti tekanan lebih (gage)

Semakin tinggi efisiensi adiabatik keseluruhan sebuah kompresor, berarti semakin kecil daya poros yang diperlukan untuk perbandingan kompresi dan kapasitas yang sama. Namun setinggi-tinggi efisiensi ini, harganya tidak akan mencapai 100%.

Selanjutnya, karena harga daya adiabatik teoritis untuk kompresor 1 tingkat berbeda dengan harga untuk kompresor 2 tingkat, maka memperbandingkan efisiensi kompresor harus dilakukan di antara yang sama jumlah tingkatnya.

Sebagai kesimpulan dapat dikemukakan bahwa efisiensi adiabatik keseluruhan merupakan petunjuk bagi baik buruknya performansi dan ekonomi sebuah kompresor. Adapun efisiensi volumetrik hanya merupakan suatu koefisien yang diperlukan oleh perencana kompresor dan tidak penting artinya bagi pemakai.

## 2.5 Perhitungan Daya Kompresor

Daya yang diperlukan untuk menggerakkan sebuah kompresor dapat dihitung dengan cara seperti contoh berikut ini.

Misalkan sebuah kompresor torak satu tingkat mempunyai efisiensi volumetris sebesar 63%, perpindahan torak sebesar  $7,94 \text{ m}^3/\text{min}$ , dan memampatkan udara dari atmosfer standar menjadi  $7 \text{ kgf/cm}^2$  (g). Efisiensi adiabatik keseluruhan ditaksir sebesar 70%. Berapakah daya motor yang diperlukan untuk menggerakkan kompresor ini?

Dengan perpindahan torak  $Q_{th} = 7,94 \text{ m}^3/\text{min}$  dan efisiensi volumetris  $\eta_v = 0,63$ , maka volume udara yang keluar dari kompresor- $Q_s$  (pada kondisi isap) dapat diperoleh dari Pers. (2.19) sbb.:

$$\begin{aligned} Q_s &= \eta_v \cdot Q_{th} \\ &= (0,63)(7,94) = 5,0 \text{ m}^3/\text{min} \end{aligned}$$

Maka daya adiabatik teoritis yang diperlukan untuk memampatkan  $1 \text{ m}^3/\text{min}$  udara standar menjadi  $7 \text{ kgf/cm}^2$  (g) dengan kompresor 1-tingkat menurut Tabel 2.7 adalah  $4,7074 \text{ kW}$ . Jadi, untuk laju volume udara total sebesar  $5,0 \text{ m}^3/\text{min}$ , akan diperlukan daya sebesar

$$L_{ad} = 5,0 \times 4,7074 = 23,5 \text{ kW}$$

Dengan efisiensi adiabatik total sebesar  $\eta_{ad} = 70\%$ , menurut Pers. (2.20) daya poros yang diperlukan kompresor adalah

$$L_s = \frac{L_{ad}}{\eta_{ad}} = \frac{23,5}{0,7} = 33,6 \text{ kW}$$

Daya motor penggerak kompresor harus diambil sebesar 5 sampai 10% di atas hasil perhitungan tersebut. Jika diambil tambahan sebesar 10%, daya motor yang diperlukan adalah sebesar 37 kW.

Efisiensi volumetris dan efisiensi adiabatik keseluruhan sebenarnya tidak tetap harganya dan berubah-ubah menurut konstruksi dan tekanan keluar kompresor. Karena itu perhitungan daya tidak dapat dilakukan semudah cara di atas. Namun untuk perhitungan kasar, efisiensi volumetris dapat ditentukan dari Gb. 2.11, efisiensi adiabatik keseluruhan dapat diambil kira-kira 80 sampai 85% untuk kompresor besar, 75 sampai 80% untuk kompresor sedang, dan 65 sampai 70% untuk kompresor kecil.

## 2.6 Jenis Penggerak Dan Transmisi Daya Poros

Sebagai penggerak kompresor umumnya dipakai motor listrik atau motor bakar torak. Adapun macam, sifat-sifat, dan penggunaan masing-masing jenis penggerak tersebut dapat diuraikan seperti di bawah ini.

### 2.6.1 Motor listrik

Motor listrik dapat diklasifikasikan secara kasar atas motor induksi dan motor sinkron. Motor induksi mempunyai faktor daya dan efisiensi yang lebih rendah dari pada motor sinkron. Arus awal motor induksi juga sangat besar. Namun motor induksi sampai 600 kW banyak dipakai karena harganya relatif murah dan pemeliharaannya mudah.

Motor induksi terdapat dalam dua jenis, yaitu jenis sangkar-bajing (squirrel-cage)

dan jenis rotor lilit (wound rotor). Akhir-akhir ini motor jenis sangkar-bajing lebih banyak dipakai karena mudah pemeliharaannya.

Meskipun motor sinkron mempunyai faktor daya dan efisiensi yang tinggi, namun harganya mahal. Dengan demikian motor ini hanya dipakai bila diperlukan daya besar di mana pemakaian daya merupakan faktor yang sangat menentukan.

### 2.6.2 Cara start motor

Motor listrik dapat distart dengan berbagai cara. Dalam Tabel 2.8 diberikan garis besar karakteristik berbagai starter yang diterapkan pada berbagai jenis motor. Dalam memilih gabungan yang sesuai dari tabel ini, perlu diperhatikan momen awal, kapasitas sumber daya di tempat pemasangan kompresor, dan pengaruh arus awal pada sistem distribusi daya yang ada.

**Tabel 2.8 Karakteristik start pada motor listrik.**

Motor		Starter	Momen awal (%) Arus awal (%)		Harga
Motor induksi	Sangkar bajing	Tanpa starter (tegangan penuh)	100	500	Murah
		Reaktor	40	400	Sedang
	Kompensator	40	200	Mahal	
	Jenis rotor lilit	Resistor sekunder	100	150	Paling mahal
Motor sinkron		Tanpa starter (tegangan penuh)	50–60	500	Murah
		Reaktor	20–30	400	Sedang
		Kompensator	20–30	200	Mahal

### 2.6.3 Motor bakar torak

Motor bakar torak dipergunakan sebagai penggerak kompresor bila tidak tersedia sumber listrik di tempat pemasangannya, atau bila kompresor tersebut merupakan kompresor portabel. Untuk daya kecil sampai 5.5 kW dapat dipakai motor bensin, dan untuk daya yang lebih besar dipakai motor Diesel.

### 2.6.4 Transmisi daya poros

Untuk mentransmisikan daya dari poros motor penggerak ke poros kompresor, ada beberapa cara yang sekarang banyak dipakai. Bila dipakai motor listrik sebagai penggerak maka transmisinya dapat menggunakan sabuk-V, kopling tetap, dan rotor terpadu. Bila dipakai motor torak dapat digunakan sabuk-V, kopling tetap, atau kopling gesek.

#### (1) Sabuk-V

Keuntungan cara transmisi ini adalah pada putaran kompresor yang dapat dipilih bebas sehingga dapat dipakai motor putaran tinggi. Namun kerugiannya adalah pada kerugian daya yang disebabkan oleh slip antara puli dan sabuk, serta kebutuhan ruangan yang lebih besar untuk pemasangan. Cara transmisi ini sering dipergunakan untuk kompresor kecil dengan daya kurang dari 75 kW.

#### (2) Kopling tetap

Hubungan dengan kopling tetap memberikan efisiensi keseluruhan yang tinggi

serta pemeliharaan yang mudah. Namun cara ini memerlukan motor dengan putaran rendah, dan motor dengan putaran rendah adalah mahal. Karena itu cara ini hanya sesuai untuk kompresor berdaya antara 150 sampai 450 kW.

(3) Rotor terpadu (direct rotor)

Pada cara ini poros engkol kompresor menjadi satu dengan poros motor. Dengan cara ini ukuran mesin dapat menjadi lebih ringkas sehingga tidak memerlukan banyak ruang. Pemeliharaannya pun lebih mudah. Namun untuk ini diperlukan motor yang dibuat secara khusus.

(4) Kopling gesek

Cara ini dipakai untuk menggerakkan kompresor kecil dengan motor bakar torak. Di sini motor dapat distart tanpa beban dengan membuka hubungan kopling. Namun untuk kompresor dengan fluktuasi momen puntir yang besar diperlukan kopling yang dapat meneruskan momen puntir yang besar pula.

## 2.7 ~~Pembelian~~ Spesifikasi Kompresor

Dalam spesifikasi kompresor, angka yang terpenting adalah laju volume gas yang ~~dibutuhkan~~ serta tekanan kerjanya. Jika kedua hal ini sudah ditetapkan, daya kompresor dapat dihitung menurut cara yang diuraikan dalam Pasal 2.5. Karena itu, untuk dapat memilih sebuah kompresor udara bagi suatu keperluan misalnya, harus terlebih dahulu diketahui jumlah udara dan tekanan yang diperlukan oleh peralatan yang akan dilayaninya. Jika kebutuhan tersebut tidak ditentukan dengan benar, maka kompresor yang dibeli dapat terlalu kecil sehingga tidak berguna, atau terlalu besar sehingga menimbulkan pemborosan.

### 2.7.1 Persyaratan dalam pembelian kompresor

Dalam pembelian sebuah kompresor, perlu dikemukakan dengan jelas persyaratan ~~tersebut~~ kepada pabrikan pembuatnya.

1. Maksud penggunaan kompresor.
2. Tekanan isap.
3. Tekanan keluar.
4. Jenis dan sifat-sifat gas yang ditangani.
5. Temperatur dan kelembaban gas.
6. Kapasitas aliran (volume) gas yang diperlukan.
7. ~~Peralatan~~ Cara mengatur kapasitas (jenis, otomatis atau manual, bertingkat banyak).
8. Cara pendinginan (dengan udara atau dengan air). Muka, temperatur, dan tekanan air pendingin, atau dipakai pendinginan air.
9. Sumber tenaga (frekuensi tegangan, kapasitas daya dari sumber).
10. Kondisi dan lingkungan tempat instalasi.
11. Jenis penggerak mula (motor listrik atau motor bakar torak).
12. Putaran penggerak mula.
13. Jenis kompresor.
  - Pelumasan minyak atau bebas minyak.
  - Kompresor torak atau putar.
  - Jumlah tingkat kompresi.
  - Permanen atau portabel.

## 14) Jumlah kompresor.

Apabila dari butir-butir di atas ada yang tidak dapat ditentukan oleh pemakai, maka pabrikan pembuat kompresor yang bersangkutan harus diminta nasihatnya.

**2.7.2 Kapasitas**

Pada kompresor torak, angka kapasitas atau volume yang tertulis di dalam katalog menyatakan perpindahan torak dan bukan laju volume yang dihasilkan. Hal ini sering menimbulkan salah pengertian, sehingga perlu kejelasan. Seperti telah diuraikan dalam butir 2.4.1, laju volume gas merupakan hasil perkalian antara perpindahan torak dan efisiensi volumetris.

Adapun untuk kompresor putar, apa yang tertulis di dalam katalog pada umumnya menyatakan volume yang sesungguhnya dihasilkan.

Pada kapasitas normal, kompresor mempunyai efisiensi adiabatik keseluruhan yang maksimum. Apabila kompresor dioperasikan pada kapasitas atau beban yang lebih rendah, maka efisiensinya akan menurun. Karena itu pemilihan kapasitas kompresor harus dilakukan sedemikian rupa hingga dalam pemakaiannya nanti kompresor akan dapat dioperasikan pada atau di sekitar titik normalnya. Selain itu, apabila kebutuhan udara atau gas sangat berfluktuasi, sebaiknya dipilih kompresor dengan kapasitas normal sebesar puncak kebutuhan.

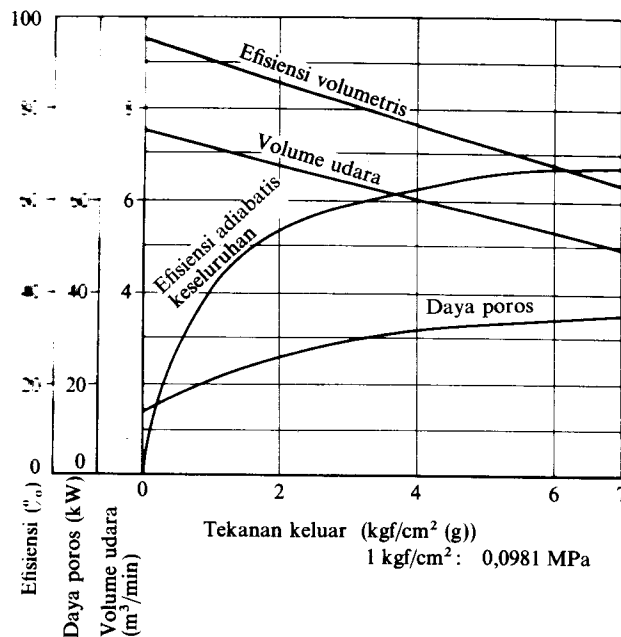
**2.7.3 Tekanan**

Dalam menentukan tekanan kompresor yang diperlukan harus diingat bahwa gas atau udara harus disalurkan ke tangki tekan dan peralatan yang memerlukannya. Karena itu besarnya tekanan kompresor harus diambil sama dengan tekanan yang diperlukan oleh peralatan yang bersangkutan ditambah dengan kerugian tekanan di pendingin akhir dan di pipa-pipa penyalur. Sebagai contoh, sebuah instalasi atau peralatan memerlukan tekanan  $5,5 \text{ kgf/cm}^2$ . Kerugian tekanan di pendingin akhir  $0,2 \text{ kgf/cm}^2$  dan di dalam pipa  $0,5 \text{ kgf/cm}^2$ . Maka kompresor yang dipilih harus dapat memberikan tekanan yang lebih besar dari:  $5,5 + 0,2 + 0,5 = 6,2 \text{ kgf/cm}^2$ . Dari perhitungan ini kemudian dapat dicari (dari dalam katalog) kompresor yang mempunyai tekanan normal sedikit lebih tinggi dari  $6,2 \text{ kgf/cm}^2$ . Tekanan normal kompresor yang diambil tidak boleh jauh melebihi tekanan kerja sistem, sebab apabila kompresor bekerja dengan tekanan jauh di bawah tekanan normalnya maka efisiensi adiabatik keseluruhannya akan menjadi terlalu rendah. Variasi tekanan yang masih dapat dianggap tidak merugikan adalah tidak lebih dari 20% di bawah tekanan spesifikasi kompresor. Dengan variasi sebesar ini efisiensi kompresor tidak terlalu banyak berkurang dari harga maksimumnya.

**2.7.4 Performansi**

Apabila kapasitas dan tekanan udara atau gas yang diperlukan sudah ditetapkan, maka kompresor yang sesuai harus dipilih. Apabila terdapat beberapa kompresor yang dapat memenuhi persyaratan yang ditetapkan, maka untuk menentukan mana yang akan dipilih perlu dilakukan pertimbangan ekonomis. Kompresor yang mempunyai efisiensi tinggi akan memberikan ongkos operasi yang rendah. Namun kompresor yang efisiensinya tinggi, harganya juga mahal.

Seperti telah diuraikan dalam butir 2.4.2, kompresor 2 tingkat mempunyai daya yang lebih rendah dari pada kompresor 1 tingkat untuk kondisi kapasitas dan tekanan



Gb. 2.12 Kurva performansi (kompresor 1-tingkat 37 kW).

yang sama. Namun kompresor 2 tingkat mempunyai konstruksi yang lebih rumit karena menggunakan pendingin antara. Jadi harganya juga lebih mahal.

Performansi kompresor dapat digambarkan dalam bentuk kurva kapasitas (volume), daya poros, efisiensi volumetris, dan efisiensi adiabatik keseluruhan, terhadap tekanan keluar, seperti diberikan dalam Gb. 2.12. Kurva seperti ini sangat berguna untuk membandingkan performansi satu kompresor terhadap yang lain.

Beberapa hal lain yang perlu diperhitungkan dalam pemilihan kompresor adalah seperti berikut.

- 1) **Biaya investasi:** harga kompresor, motor penggerak, peralatan dan instalasi listrik, peralatan pembantu (accessories), biaya pembangunan gedung, pondasi, dan lain-lain.
- 2) **Biaya operasi:** biaya tenaga listrik, bahan bakar (untuk penggerak dengan motor bakar), minyak pelumas dan air pendingin.
- 3) **Biaya pemeliharaan:** biaya penggantian suku cadang, perbaikan dan overhaul.

Biasanya kompresor berdaya 300 kW atau kurang, dibuat secara produksi masa menurut model-model standar. Kompresor semacam ini harganya lebih murah, dapat dipesan dalam waktu singkat, suku cadang mudah didapat, sehingga sangat ekonomis. Karena itu jika kapasitas dan kapasitasnya agak berbeda dengan yang diperlukan, seringkali masih dapat menguntungkan secara keseluruhan.

## 2.8 Pemilihan Bahan

### 2.8.1 Bahan untuk bagian-bagian yang bersinggungan dengan gas

Logam yang dipakai untuk membuat kompresor dapat mengalami korosi oleh beberapa jenis gas setelah dipakai untuk jangka waktu lama. Jadi bahan yang dipilih untuk bagian-bagian yang bersentuhan dengan gas yang korosiv (misalnya pipa pen-



**Tabel 2.9 Jenis-jenis gas yang mudah menyebabkan korosi pada bahan.**

Jenis gas Bahan	Asetilin	Hidrogen sulfida	Gas asam belerang	Gas klor	Oksigin	Gas asam	Gas yang mengand- ung logam atau atau karbonat
Tembaga	x	x	x	x	x	x	
Besi dan besi cor				x	x	x	
Paduan aluminium				x	x	x	x
Karet		x	x	x			

dingin, sirip, paking, dll.) harus tahan korosi.

Beberapa jenis gas yang dapat menimbulkan korosi pada bahan diberikan dalam Tabel 2.9. Gas yang diberi tanda "x" di dalam tabel ini akan memakan bahan-bahan logam dan merusak karet.

### 2.8.2 Bahan untuk pipa pendingin

Untuk mendinginkan kompresor yang berukuran sedang dan besar biasanya dipergunakan air. Air yang dipakai biasanya bukan air murni melainkan mengandung berbagai zat lain. Kandungan zat-zat lain ini dapat menimbulkan berbagai akibat buruk seperti korosi dan pembentukan lapisan kerak pada pipa-pipa dll. Bagian-bagian badan kompresor sendiri yang bersentuhan dengan air biasanya tidak mengalami masalah korosi karena umumnya terbuat dari besi cor. Namun bahan untuk pipa-pipa harus sesuai dengan mutu air pendingin yang akan dipakai.

Untuk air tawar yang bersih biasa dipakai pipa baja galvanis, pipa tembaga atau pipa tembaga nikel. Untuk air tawar yang kotor atau air laut, pipa tembaga nikel yang dipakai.

Bahan untuk badan kompresor akan diuraikan kemudian dalam Bab. 4 tentang Konstruksi Kompresor.

# 3

## UDARA TEKAN DAN PEMAKAIANNYA

### 3.1 Pemakaian

Udara tekan mempunyai penggunaan yang luas sebagai sumber tenaga. Jadi dapat dipersamakan dengan tenaga listrik, tenaga air, dan tenaga hidrolik, yang banyak dipergunakan dalam industri modern. Beberapa pemakaian yang kita kenal dalam kehidupan sehari-hari di antaranya adalah:

- 1) Rem pada bis dan kereta api, serta pembuka/penutup pintunya.
- 2) Udara tekan untuk pengecatan.
- 3) Penggerak bor gigi pada peralatan dokter gigi.
- 4) Pemberi udara pada akuarium.
- 5) Pompa air panas pada sumber air panas.
- 6) Pembotolan minuman.

Udara tekan dipakai hampir di semua industri termasuk industri pembuatan, tambang, keramik, kimia, makanan, perikanan, pekerjaan sipil dan pembangunan gedung.

Udara tekan yang dihasilkan dengan kompresor mempunyai beberapa kelebihan dibandingkan dengan listrik dan tenaga hidrolik dalam hal-hal berikut ini.

- 1) Konstruksi dan operasi mesin serta fasilitasnya adalah sangat sederhana.
- 2) Pemeliharaan dan pemeriksaan mesin dan peralatan dapat dilakukan dengan mudah.
- 3) Energi dapat disimpan.
- 4) Kerja dapat dilakukan dengan cepat.
- 5) Harga mesin dan peralatan relatif murah.
- 6) Kebocoran udara yang dapat terjadi tidak membahayakan dan tidak menimbulkan pencemaran.

Contoh-contoh penggunaan udara tekan dalam praktek digolongkan menurut gaya dan akibat yang ditimbulkannya, seperti diberikan dalam Tabel 3.1.

### 3.2 Pemakaian dan Pemilihan Kompresor

Tenaga listrik dan air minum yang digunakan di industri biasanya diperoleh dari sumber di luar. Tidak demikian halnya dengan udara tekan yang harus dihasilkan di dalam gedung atau pabrik. Karena itu diperlukan kompresor. Untuk ini karakteristik dan konstruksi kompresor harus difahami dan model yang paling sesuai untuk suatu keperluan harus dipilih. Contoh-contoh pemakaian yang sesuai diperlihatkan dalam Tabel 3.2



Tabel 3.2 Penggunaan dan pemilihan kompresor.

Industri	Kelas pemakaian	Pemakaian	Keterangan tentang pemakaian	Keterangan tentang kompresor yang dipilih
Pusat listrik; pabrik gas	Listrik	Menyalakan dan mematikan CCB dan ABB		Pemboran dan tambang arang batu
		Kendali otomatis pada pembakar dalam ketel uap		Kompresor jenis bebas minyak
		Transportasi arang batu halus dengan tekanan; pembersihan debu	Sumber udara untuk konveyor numatik	
		Lain-lain: pembakar minyak berat	Penyemprotan minyak berat	Tekanan keluar 7-15 kgf/cm <sup>2</sup> (0,69-1,47 MPa)
		Peniup jelaga	Untuk meniup jelaga pada ketel uap	Tekanan keluar 20-35 kgf/cm <sup>2</sup> (1,96-3,43 MPa)
Tambang	Gas	Lift gas, transportasi gas dengan tekanan, mengisi bom, sumber udara untuk pengaturan		Jenis bebas minyak
		Pengendalian otomatis		
		Pengisian muck	Untuk mengisikan muck ke dalam lubang bor pada arang batu atau mineral dengan mesin pengisi yang digerakkan oleh tekanan udara.	
		Lokomotif udara; motor udara	Sebagai penggerak mula di mana ada kemungkinan bahaya ledakan.	
		Rotor udara	Untuk mengeruk tanah dan memuatkannya ke atas kereta dalam tambang atau ke atas truk pada pekerjaan sipil.	
		Pengaduk	Untuk mengaduk dan memisahkan mineral dalam proses pemurnian emas dan tembaga.	
		Mesin bor, pemecah batu bara	Pemboran dan penambangan batu bara	
		Instalasi pertambangan, bor traktor		

MILIK

Pusat Perpustakaan

Jawa Timur

Tabel 3.2

Industri	Kelas pemakaian	Pemakaian	Keterangan tentang pemakaian	Keterangan tentang kompresor yang dipilih
Keramik	Semen	Pengangkutan, pengaduk	Semen dimasukkan ke dalam kantong dengan tekanan udara	
	Kaca/gelas	Transportasi produk dan bahan mentah Mesin pembuat botol, pembakar, pendinginan produk, pendinginan gelas yang dikeraskan	Sumber udara tekan untuk conveyor otomatis Sebagai sumber udara tekan untuk pembuatan gelas. Pada masa lampau orang meniup gelas dengan mulut. Tetapi sekarang digunakan udara tekan, kecuali untuk beberapa produk khusus.	
	Keramik	Pengeringan dan penyemprotan dalam proses pelapisan gelas, pendinginan produk		Kompresor jenis bebas minyak.
Pekerjaan sipil dan pembangunan gedung	Pekerjaan sipil	Penggetar beton	Untuk memperoleh keseragaman dalam pengecoran beton; untuk memecahkan dinding, pondasi dan jalan beton.	Kompresor jenis portabel
		Penumbuk tiang pancang	Sebagai sumber udara tekan pada penumbuk tiang pancang.	
		Penyekat kebocoran air ke dalam terowongan	Untuk mencegah kebocoran air ke dalam terowongan di bawah laut atau sungai. Udara dimasukkan dengan tekanan yang lebih tinggi dari pada tekanan air dari luar terowongan.	Kompresor berukuran besar
	Pembangunan gedung	Pekerjaan caisson	Untuk mengurangi gesekan pada daerah yang digali untuk struktur.	
		Crawler, mesin bor, penyemprot aduk		
		Palu paku, palu perapat, bor dan gergaji kayu, alat pengangkat, penyemprot aduk dan cat		Kompresor jenis portabel.

Tabel 3.2

Industri	Kelas pemakaian	Pemakaian	Keterangan tentang pemakaian	Keterangan tentang kompresor yang dipilih
Transportasi	Otomobil	Palu udara tekan, pres, penyemprot cat, pemutar mur, pengangkat mobil, pemompa ban	Udara tekan disimpan dalam silinder udara.	Kompresor berkapasitas besar.
	Bangunan kapal	Penyemprot cat, palu pengeling, penyemprot pasir, dll		
Industri logam	Pengecoran	Mesin pembuat cetakan, palu udara tekan, penyemprot pasir,	Untuk menjalankan mesin pengecoran otomatis.	
	Penempaan	Palu udara tekan		
	Pekerjaan plat logam	Pres Gerinda Pengendali otomatis Pengecatan		
Pekerjaan plat dan permukaan	Karet	Mesin pembentuk ban	Untuk menambahkan belatung pada proses pembuatan ban	
	Alat musik	Pengecatan dan pengeringan piano, organ, dll		Kompresor jenis bebas minyak
	Kayu lapis	Pres kayu lapis	Produksi kayu lapis	
	Plastik	Pres pembentuk		
	Pelapisan keramik	Penyemprot pasir	Untuk membersihkan karat sebelum pelapisan keramik.	
	Pengisian logam panas	Pembakar Penyemprotan logam	Untuk pembakar di dalam tungku setelah pelapisan.	

Tabel A.2

Industri	Kelas pemakaian	Pemakaian	Keterangan tentang pemakaian	Keterangan tentang kompresor yang dipilih
Makanan dan minuman	Pembuatan bu	Untuk memampatkan bahan mentah pembuat bu		Kompresor jenis bebas minyak
	Pembuatan minuman bubuk	Mesin pengisi botol		
	Pengaliran	Mesin memasang tutup botol		
	Pembuatan minyak dan saus	Untuk pengisian		
	Rokok	Untuk memasang filter		
Pariwisata	Sumber air panas	Untuk menaikkan air panas dari sumbernya	Efisiensinya lebih rendah dari pada pompa, tetapi tidak menimbulkan banyak kesulitan karena tidak ada bagian-bagian yang bergerak.	Kompresor bertekanan sedang dan berkapasitas rendah.
	Mesin pembuat salju		Salju buatan dapat dibuat pada kondisi $-10^{\circ}\text{C}$ dan 60% kelembaban udara luar	Air diubah menjadi kabut untuk menghasilkan salju.
Kimia	Kimia	Produksi vinil klorida dan amonium sulfida	Kompresor jenis khusus sering dipakai	
	Minyak bumi	Minyak sintetis		
		Pemindahan LPG dari kapal ke kereta api atau ke tangki dengan memberikan tekanan		
	Kimia	Pengaduk tangki kultur penisilin		Jenis bebas minyak.
		Pengisian dan pengangkutan bahan kimia dengan tekanan		

Tabel 3.2

Industri	Kelas pemakaian	Pemakaian	Keterangan tentang pemakaian	Keterangan tentang kompresor yang dipilih
Transportasi	Konveyor pneumatik	Semen		Kompresor jenis bebas minyak
		Gandum		
		Kedele		
		Logam		
Alat presisi	Kamera	Pengecatan, pelapisan, perakitan, pembersihan, pengadukan, pengujian		Kompresor jenis bebas minyak
	Jam tangan			
	Bantalan			
	Instrumen			
Pertanian dan kehutanan	Peralatan elektronik	Penggergajian dengan mesin udara tekan		
Perikanan		Penyemprotan bahan kimia		
		Pembiakan ikan		
		Sirkulasi air		
Tekstil		Untuk mesin-mesin otomatis		Kompresor jenis bebas minyak
		Pengeringan dan pewarnaan		
		Pembersih		
Peralatan mekanik dan listrik		Perkakas berpengerak udara tekan		
		Pengecatan		
		Operasi otomatis		

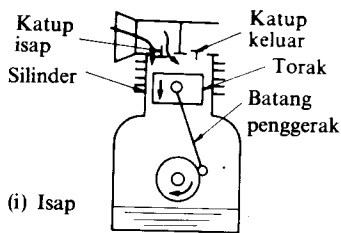


Tabel 1.2

Industri	Kelas pemakaian	Pemakaian	Keterangan tentang pemakaian	Keterangan tentang kompresor yang dipilih
Kedokteran	Peralatan kedokteran			Kompresor jenis bebas minyak
	Menghirup			
Besi dan baja	Kendali otomatis	Peralatan pengendali otomatis		Kompresor jenis bebas minyak
	Fasilitas otomatisasi	Untuk penggerak silinder udara tekan		

### 4.1 Konstruksi Kompresor Torak

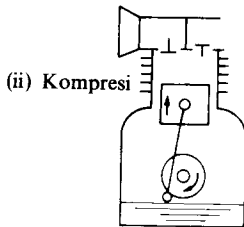
Seperti diperlihatkan dalam Gb. 4.1(a), kompresor torak atau kompresor bolak-balik pada dasarnya dibuat sedemikian rupa hingga gerakan putar dari penggerak mula



(i) Isap

(i) Isap

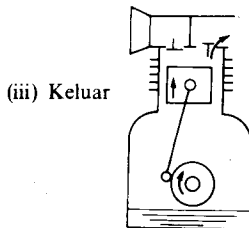
Bila poros engkol berputar dalam arah panah, torak bergerak ke bawah oleh tarikan engkol. Maka terjadilah tekanan negatif (di bawah tekanan atmosfer) di dalam silinder, dan katup isap terbuka oleh perbedaan tekanan, sehingga udara terisap.



(ii) Kompresi

(ii) Kompresi

Bila torak bergerak dari titik mati bawah ke titik mati atas, katup isap tertutup dan udara di dalam silinder dimampatkan.

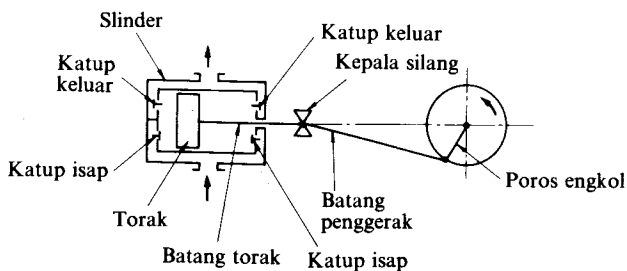


(iii) Keluar

(iii) Keluar

Bila torak bergerak ke atas, tekanan di dalam silinder akan naik. Maka katup keluar akan terbuka oleh tekanan udara/gas, dan udara/gas akan keluar.

(a) Kerja tunggal

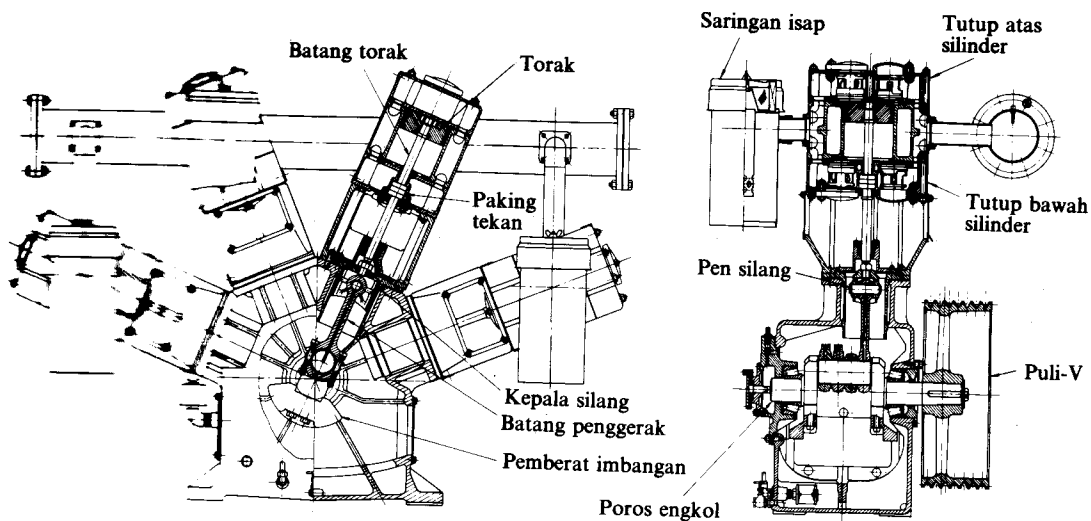


(b) Kerja ganda

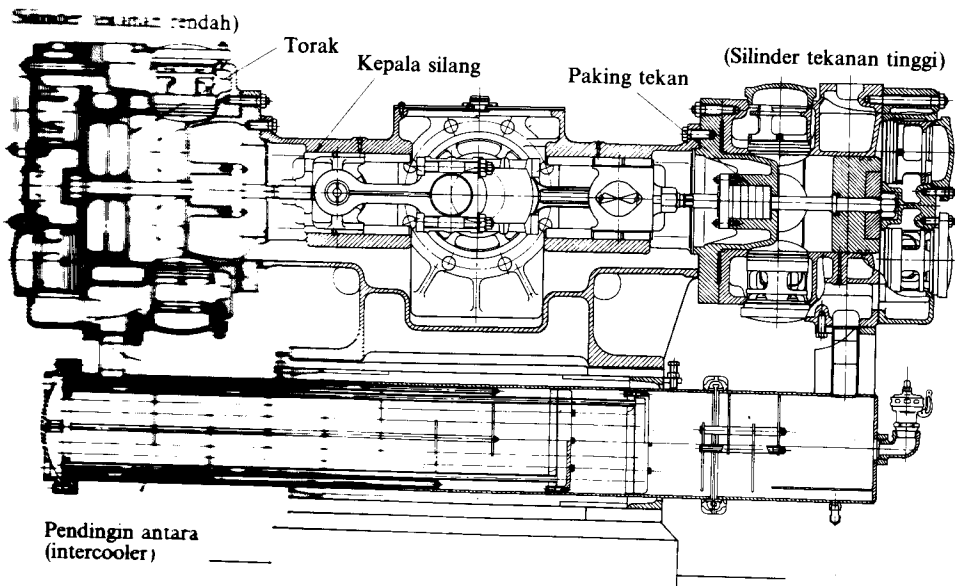
Gb. 4.1 Kerja kompresor bolak-balik.

diubah menjadi gerakan bolak-balik. Gerakan ini diperoleh dengan menggunakan poros engkol dan batang penggerak yang menghasilkan gerak bolak-balik pada torak. Gerakan torak ini akan mengisap udara ke dalam silinder dan memampatkannya. Gb. 4.1(a) menunjukkan konstruksi kompresor kerja tunggal dan Gb. 4.1(b) memperlihatkan kompresor jenis kerja-ganda. Batang penggerak dari kompresor kerja ganda dihubungkan dengan batang torak melalui sebuah kepala silang. Kompresi di dalam silinder dilakukan oleh kedua sisi torak. Ujung silinder yang ditembus oleh batang torak harus diberi paking tekan untuk mencegah kebocoran udara.

Gb. 4.2(a) memperlihatkan kompresor kerja ganda satu tingkat, dan kompresor



Gb. 4.2 (a) Kompresor kerja ganda satu tingkat.

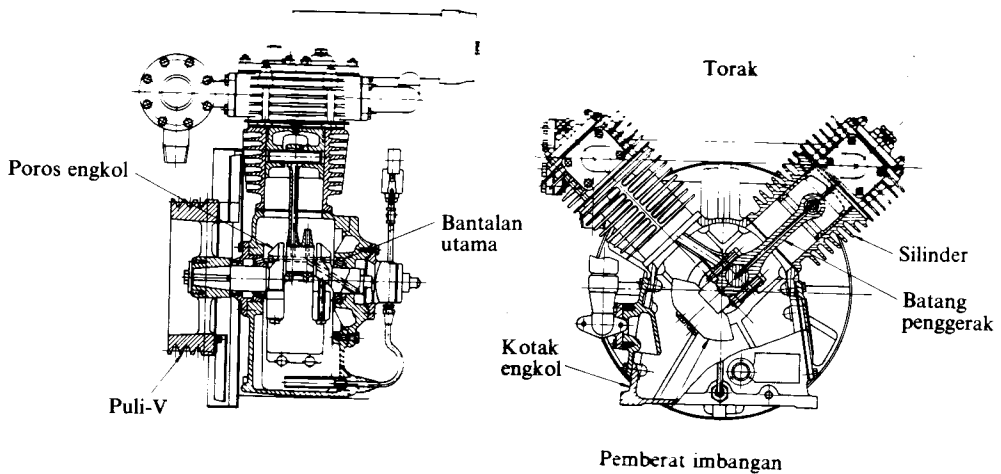


Gb. 4.2 (b) Kompresor kerja ganda dua tingkat jenis lawan imbal.

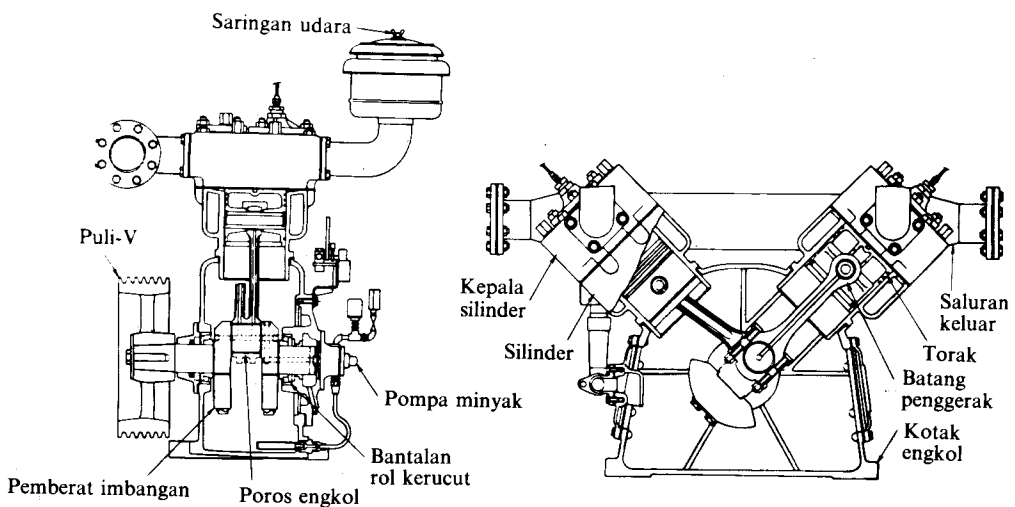
kerja ganda dua tingkat ditunjukkan dalam Gb. 4.2(b). Contoh-contoh kompresor udara yang umum akan diuraikan secara terperinci di bawah ini. Adapun badan utama dari kompresor secara garis besar terdiri dari perangkat pemampat dan perangkat penggerak. Di sini bagian-bagian utama dari perangkat pemampat akan diuraikan terlebih dahulu.

#### 4.1.1 Silinder dan kepala silinder

Gb. 4.3 memberikan potongan kompresor torak kerja tunggal dengan pendinginan udara, sedangkan Gb. 4.4 memperlihatkan penampang kompresor torak kerja tunggal dengan pendinginan air. Silinder mempunyai bentuk silindris dan merupakan bejana kedap udara di mana torak bergerak bolak-balik untuk mengisap dan memampatkan udara.



Gb. 4.3 Kompresor kerja tunggal satu tingkat (jenis pendinginan udara).



Gb. 4.4 Kompresor kerja tunggal satu tingkat (jenis pendinginan air).

Silinder harus cukup kuat untuk menahan tekanan yang ada. Untuk tekanan kurang dari  $50 \text{ kgf/cm}^2$  ( $4.9 \text{ MPa}$ ) umumnya dipakai besi cor sebagai bahan silinder. Permukaan dalam silinder harus disuperfinis sebab cincin torak akan meluncur pada permukaan ini. Untuk memancarkan panas yang timbul dari proses kompresi, dinding luar silinder diberi sirip-sirip. Sirip-sirip ini dimaksud untuk memperluas permukaan yang memancarkan panas pada kompresor dengan pendinginan udara. Kompresor dengan pendinginan air dilengkapi dengan selubung air di dinding luar silinder.

Tutup silinder (atau kepala silinder) terbagi menjadi dua ruangan, satu sebagai sisi isap dan yang lain sebagai sisi keluar. Sisi isap dilengkapi dengan katup isap dan pada sisi keluar terdapat katup keluar. Pada kompresor kerja ganda terdapat tutup atas silinder dan tutup bawah silinder. Sebagaimana pada silinder, tutup silinder harus cukup kuat untuk menahan tekanan. Biasanya dibuat dari besi cor dan dinding luarnya diberi sirip-sirip pemancar panas atau selubung air pendingin.

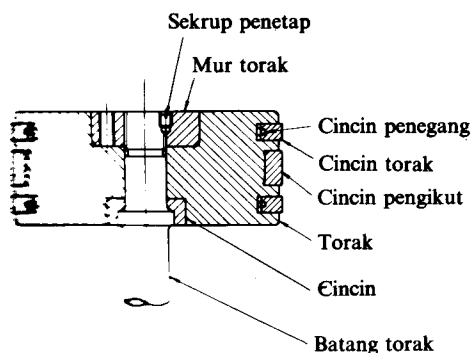
#### 4.1.2 Torak dan cincin torak

Torak harus cukup tebal untuk dapat menahan tekanan dan terbuat dari bahan yang cukup kuat. Untuk mengurangi gaya inersia dan getaran yang ditimbulkan oleh gerakan bolak-balik, torak harus dirancang seringan mungkin. Bentuknya juga harus sedemikian rupa dapat mengatasi pengaruh pemuaian karena pemanasan pada langkah kompresi.

Cincin torak dipasang pada alur-alur di keliling torak dan berfungsi mencegah kebocoran antara permukaan torak dan silinder. Jumlah cincin torak bervariasi tergantung pada perbedaan tekanan antara sisi atas dan sisi bawah torak. Tetapi biasanya pemasangan 2 sampai 4 buah cincin dapat dipandang cukup untuk kompresor dengan tekanan kurang dari  $10 \text{ kgf/cm}^2$  ( $0.98 \text{ MPa}$ ).

Dalam hal kompresor kerja tunggal dengan silinder tegak, juga dipergunakan cincin pengumpul minyak yang dipasang pada alur paling bawah dari alur cincin yang lain. Cincin ini tidak dimaksud untuk mencegah kebocoran udara, dan melulu untuk menyeka minyak yang terpercik pada dinding dalam silinder.

Kompresor bebas minyak juga umum dipakai untuk mendapatkan udara tekan yang bersih tidak tercampur uap minyak. Dalam hal ini permukaan dalam silinder tidak dilumas. Sebagai gantinya dipakai karbon atau tefflon yang bersifat melumasi sendiri sebagai bahan untuk cincin torak dan cincin pengikut. Pada sebelah dalam dari cincin torak dipasang cincin penegang yang menekan cincin torak pada permukaan dalam silinder. Gb. 4.5 memperlihatkan torak sebuah kompresor bebas minyak.



Gb. 4.5 Torak dari kompresor bebas minyak.

### 4.1.3 Katup

Katup isap dan katup keluar yang dipergunakan pada kompresor dapat membuka dan menutup sendiri sebagai akibat dari perbedaan tekanan yang terjadi antara bagian dalam dan bagian luar silinder.

Katup-katup ini membuka dan menutup untuk setiap langkah bolak-balik dari torak. Karena itu frekuensi kerjanya adalah yang paling tinggi di antara bagian-bagian lain dari kompresor. Katup keluar selalu bekerja pada kondisi yang sangat berat karena harus melakukan udara dengan temperatur tinggi dan sering macet karena karbid yang terbentuk dari minyak yang terbawa oleh aliran udara. Jadi katup ini merupakan bagian yang memerlukan perhatian khusus.

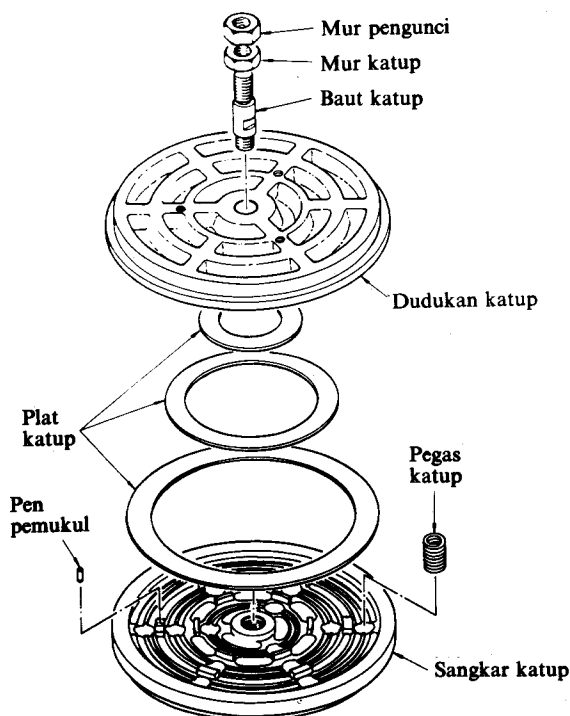
Katup terdapat dalam berbagai konstruksi. Namun yang umum dipakai saat ini adalah jenis-jenis katup cincin, katup pita (reed), katup kanal dan katup kepak (flapper).

Gb. 4.6 memperlihatkan katup cincin. Gambar ini memperlihatkan katup isap. Katup keluar mempunyai konstruksi yang agak berbeda di mana bagian atas dan bagian bawahnya terbalik dibandingkan dengan yang ada dalam Gb. 4.6. Selain itu, baut katup dipasang dari atas dan dikencangkan.

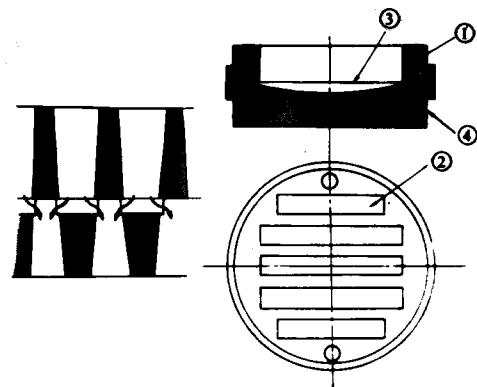
Dudukan katup dan sangkar katup dikencangkan dengan baut dan mur katup.

Plat katup dipasang di antara dudukan katup dan sangkar katup. Plat katup ditekan pada dudukan katup oleh pegas katup. Bila perbedaan tekanan antara sebelah dalam dan sebelah luar katup menjadi lebih besar dari pada gaya yang ditimbulkan oleh pegas katup, maka plat katup akan terangkat dan udara akan mengalir melalui lubang-lubang laluan pada dudukan katup dan sangkar katup ke dalam silinder.

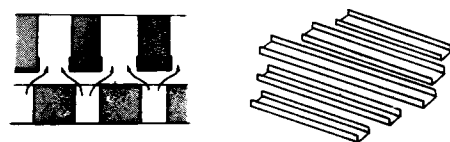
Gb. 4.7 memperlihatkan bentuk katup pita. Katup ini terdiri dari dudukan katup



Gb. 4.6 Katup cincin.



Gb. 4.7 Katup pita (reed valve).



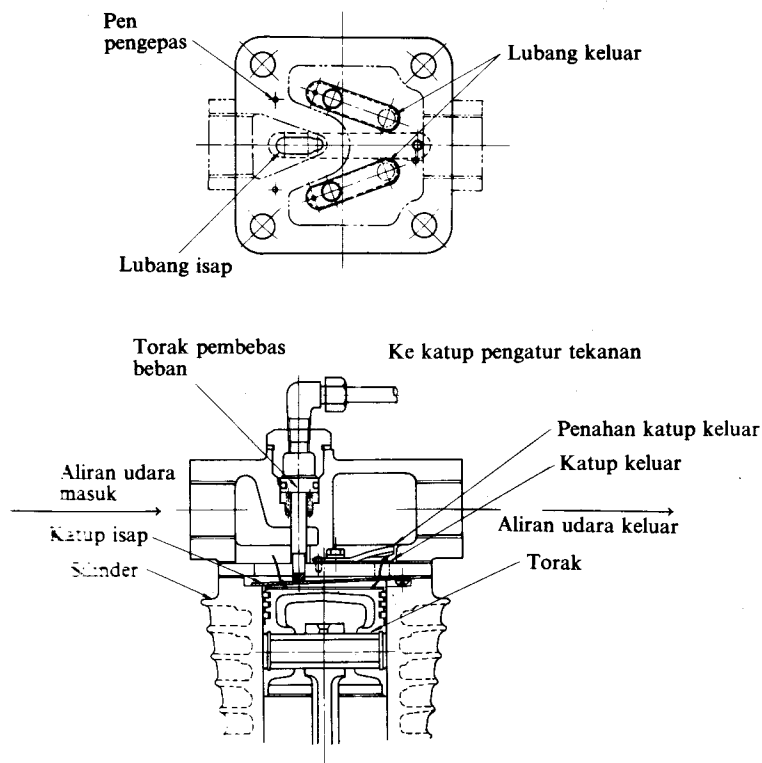
Gb. 4.8 Katup kanal.

① yang mempunyai lubang laluan berbentuk segi empat ②, plat katup yang tipis dan ringan ③ (tebalnya 0.3–0.5 mm), dan sangkar katup ④ untuk membatasi angkatan plat katup. Plat katup pada saat terbuka akan melengkung membentuk busur dan menjadi lurus kembali pada saat menutup rapat lubang-lubang pada kedudukan katup. Meskipun plat katup ini ringan dan mudah bergerak, namun tidak dapat terangkat tinggi-tinggi sehingga untuk mendapatkan luas laluan yang cukup besar, ukuran pita harus cukup besar pula.

Katup ~~katup~~ (Gb. 4.8) juga mempunyai lubang laluan udara berbentuk segi empat. Kebocoran ~~kebocoran~~ dengan plat katup yang berbentuk alur.

Pada ~~saat~~ belakang katup plat terdapat pegas segi empat yang dilengkungkan menjadi busur. Katup kanal dibatasi gerakannya oleh penahan.

Gb. 4.9 memperlihatkan konstruksi katup kepek. Plat katup ditetapkan pada salah satu ~~penggantung~~ dan pinggir yang lain dibiarkan bebas. Jadi katup ini membuka dan menutup ~~menutup~~ karena elastisitasnya sendiri dan oleh perbedaan tekanan udara yang terjadi. Dengan konstruksi yang demikian itu katup ini tidak memerlukan penjaga plat katup dan pegas katup. Selain itu plat katup ini sangat ringan sehingga tidak menimbulkan ~~banyak~~ suara. Karena itu katup jenis ini banyak dipakai untuk kompresor kecil.



Gb. 4.9 Konstruksi katup kepek.

#### 4.1.4 Poros engkol dan batang penggerak

Poros engkol dan batang penggerak merupakan bagian-bagian yang penting untuk

mengubah gerak putar menjadi gerak bolak-balik. Poros engkol ditumpu oleh bantalan utama. (Lihat Gb. 4.3). Batang penggerak dipasang pada pen engkol yang letaknya eksentrik terhadap sumbu putar. Pada titik yang berseberangan dengan pen engkol ini terhadap sumbu putar, terdapat pengimbang untuk mengurangi getaran pada waktu poros engkol berputar. Pada ujung poros engkol terdapat kopling untuk meneruskan daya dari penggerak mula (pada hubungan langsung). Jika kompresor digerakkan melalui sabuk-V, maka pada ujung poros engkol dipasang sebuah puli-V yang berfungsi pula sebagai roda gaya. Poros engkol biasanya terbuat dari baja tempa karena memerlukan kekuatan yang besar dan ketahanan yang cukup terhadap keausan.

Ujung yang besar dari batang penggerak dipasang pada pen engkol dan ujung yang kecil dihubungkan pada torak melalui pen torak pada kompresor kerja tunggal, dan dihubungkan dengan kepala silang melalui pen silang pada kompresor kerja ganda. Pada kedua ujung ini dipasang metal bantalan.

Batang penggerak biasanya terbuat dari baja tempa. Sebagai bantalan dipakai logam putih atau bantalan bola. Bantalan pada ujung yang kecil agak berbeda bebannya dari bantalan biasa. Bantalan ini menerima beban tumbukan yang besar karena gerakan bolak-balik dan tekanan gas yang berubah-ubah setiap putaran. Dengan demikian cara pelumasan dan bahan metal harus dipilih secara saksama. Biasanya untuk bantalan ini dipergunakan paduan tembaga.

#### 4.1.5 Kotak engkol

Kotak engkol merupakan komponen penting pada kompresor dan harus menopang bantalan utama poros engkol dengan kokoh. Bantalan utama tersebut harus menahan gaya inersia dari masa yang bergerak bolak-balik serta gaya pada torak. Dengan demikian kotak engkol harus mempunyai kekakuan yang tinggi dan deformasi yang sekecil mungkin, Kotak engkol yang harus berfungsi sebagai penampung minyak; kebocoran harus dicegah. Dengan demikian harus dipakai konstruksi yang kokoh, tertutup penuh, dan terbuat dari besi cor.

Sebagai bantalan utama dapat dipilih dari berbagai jenis yang ada tergantung pada ukuran kompresor. Bantalan jenis luncur yang biasa dipakai ada yang terbelah dua dan terbelah empat dengan logam pendukung dari baja cor atau baja tempa yang dilapisi logam putih. Bantalan metal presisi juga dapat dipakai. Bantalan gelinding juga banyak dipakai, terutama yang berjenis bola dan rol kerucut.

#### 4.1.6 Alat pengatur kapasitas

Laju volume udara yang dihasilkan oleh kompresor harus dapat disesuaikan dengan jumlah udara yang diperlukan. Jika kompresor dibiarkan berjalan sedangkan udara yang dihasilkan tidak dipakai maka tekanan akan naik melebihi batas yang berbahaya. Karena itu kompresor harus dilengkapi dengan alat yang disebut pembebas beban (unloader). Alat ini dapat mengatur laju volume udara yang diisap sesuai dengan laju aliran keluar yang dibutuhkan.

Pembebas beban dapat digolongkan menurut azas kerjanya yaitu (a) pembebas beban katup isap, (b) pembebas beban celah katup, (c) pembebas beban trotel isap, dan (d) pembebas beban dengan pemutus otomatis. Untuk kompresor torak, jenis (a) dan (d) adalah yang paling banyak dipakai pada saat ini.

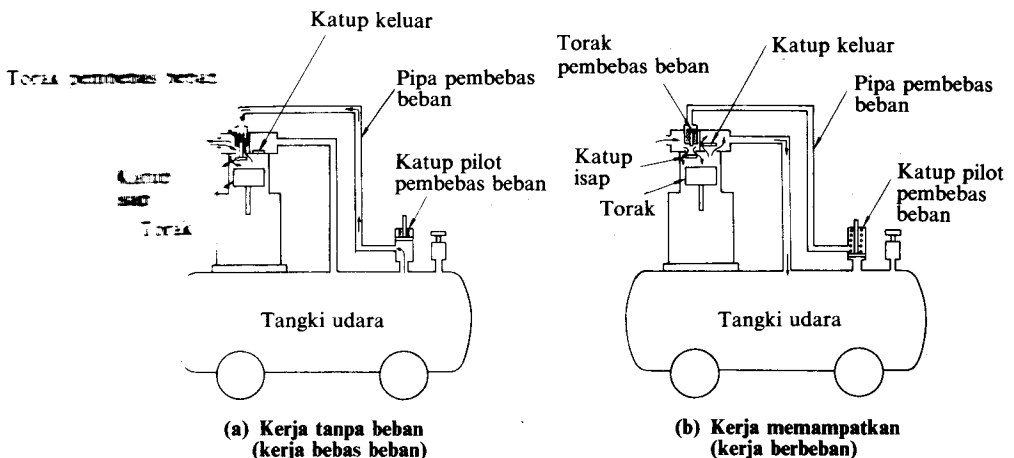
Untuk mengurangi beban pada waktu kompresor distart, agar penggerak mula dapat berjalan lancar, maka pembebas beban dapat dioperasikan secara otomatis atau manual. Pembebas beban jenis ini disebut pembebas beban awal.



Adapun ciri-ciri, cara kerja, dan pemakaian berbagai jenis pembebas beban tersebut di atas adalah sebagai berikut.

(1) Pembebas beban katup isap

Jenis ini sering dipakai pada kompresor berukuran kecil atau sedang. Cara ini menggunakan katup isap di mana plat katupnya dapat dibuka terus pada langkah isap maupun langkah kompresi sehingga udara dapat bergerak keluar masuk silinder secara bebas melalui katup ini tanpa terjadi kompresi. Hal ini berlangsung sebagai berikut. (Lihat Gb. 4.10).



Gb. 4.10 Cara kerja pembebas beban katup isap.

Sebelum kompresor bekerja maka udara akan mengisi tangki udara sehingga tekanannya ~~naik~~ sedikit demi sedikit. Tekanan ini disalurkan ke bagian bawah katup pilot ~~katup~~ pembebas beban. Jika tekanan di dalam tangki udara masih rendah, maka katup ~~katup~~ pilot tertutup karena pegas atas dari katup pilot dapat mengatasi tekanan tersebut. ~~Naik~~ Jika tekanan di dalam tangki udara naik sehingga dapat mengatasi gaya pegas ~~katup~~ katup isap akan didorong sampai terbuka. Udara tekan akan mengalir melalui ~~pipa~~ pipa pembebas beban dan menekan torak pembebas beban pada tutup silinder ke bawah. ~~Maka katup isap akan terbuka dan operasi tanpa beban mulai.~~

Sebelum kompresor bekerja tanpa beban, tekanan di dalam tangki udara akan ~~menurun~~ ~~naik~~ udara dipakai sedangkan penambahan udara dari kompresor tidak ada. ~~Jika tekanan~~ Jika tekanan dalam tangki udara melebihi batas maka gaya pegas dari katup pilot akan mengalahkan gaya ~~katup~~ tekanan tangki udara. Maka katup pilot akan jatuh, lalu udara tertutup, dan ~~tekanan~~ tekanan di dalam pipa pembebas beban menjadi sama dengan tekanan atmosfer. ~~Dengan demikian~~ Dengan demikian torak pembebas beban akan terangkat oleh gaya pegas, katup isap kembali ~~pada~~ pada posisi normal, dan kompresor bekerja biasa mengisap dan memampatkan udara.

(2) Pembebas beban dengan pemutus otomatis

Jenis ini dipakai untuk kompresor-kompresor yang relatif kecil, kurang dari 7,5 kW. Di sini dipakai tombol tekanan (pressure switch) yang dipasang di tangki udara. Motor penggerak akan dihentikan oleh tombol tekanan ini secara otomatis bila tekanan udara di dalam tangki udara melebihi batas tertentu. Sebaliknya jika tekanan di dalam

tangki udara turun sampai di bawah batas minimal yang ditetapkan. maka tombol akan tertutup dan motor akan hidup kembali.

Pembebas beban jenis ini banyak dipakai pada kompresor kecil sebab katup isap pembebas beban yang berukuran kecil agak sukar dibuat. Selain itu motor berdaya kecil dapat dengan mudah dihidupkan dan dimatikan dengan tombol tekanan.

#### 4.1.7 Pelumasan

Bagian-bagian kompresor torak yang memerlukan pelumasan adalah bagian-bagian yang saling meluncur seperti silinder, torak, kepala silang, metal-metal bantalan batang penggerak dan bantalan utama. Tujuan pelumasan adalah untuk mencegah keausan, merapatkan cincin torak dan paking, mendinginkan bagian-bagian yang saling bergesek, dan mencegah pengkaratan.

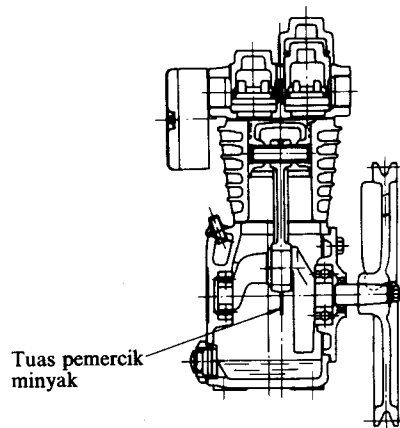
Pada kompresor kerja tunggal yang biasanya dipergunakan sebagai kompresor berukuran kecil, pelumasan kotak engkol dan silinder disatukan. Sebaliknya kompresor kerja ganda yang biasanya dibuat untuk ukuran sedang dan besar di mana silinder dipisah dari rangka oleh paking tekan, maka harus dilumasi secara terpisah. Dalam hal ini pelumasan untuk silinder disebut pelumasan dalam dan pelumasan untuk rangkanya disebut pelumasan luar.

Untuk kompresor kerja tunggal yang berukuran kecil, pelumasan dalam maupun pelumasan luar dilakukan secara bersama dengan cara pelumasan percik atau dengan pompa pelumas jenis roda gigi.

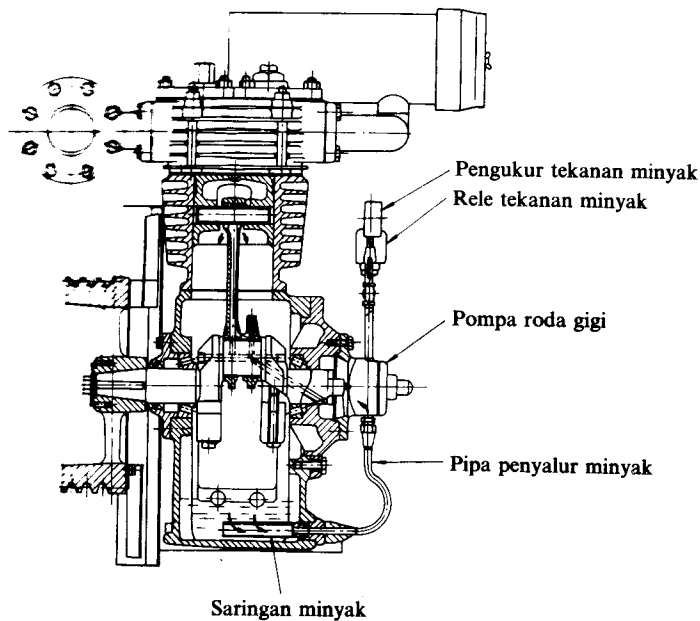
Pelumasan percik seperti diperlihatkan dalam Gb. 4.11, menggunakan tuas pemercik minyak yang dipasang pada ujung besar batang penggerak. Tuas ini akan menyerempet permukaan minyak di dasar kotak engkol sehingga minyak akan terpercik ke silinder dan bagian lain di dalam kotak engkol.

Metoda pelumasan paksa menggunakan pompa roda gigi yang dipasang pada ujung poros engkol. Putaran poros engkol akan diteruskan ke poros pompa ini melalui sebuah kopling jenis Oldham. Minyak pelumas mengalir melalui saringan minyak oleh isapan pompa. Oleh pompa tekanan minyak dinaikkan sampai mencapai harga tertentu lalu dialirkan ke semua bagian yang memerlukan melalui saluran di dalam poros engkol dan batang penggerak. Sebuah katup pembatas tekanan untuk membatasi tekanan minyak dipasang pada sisi keluar pompa roda gigi.

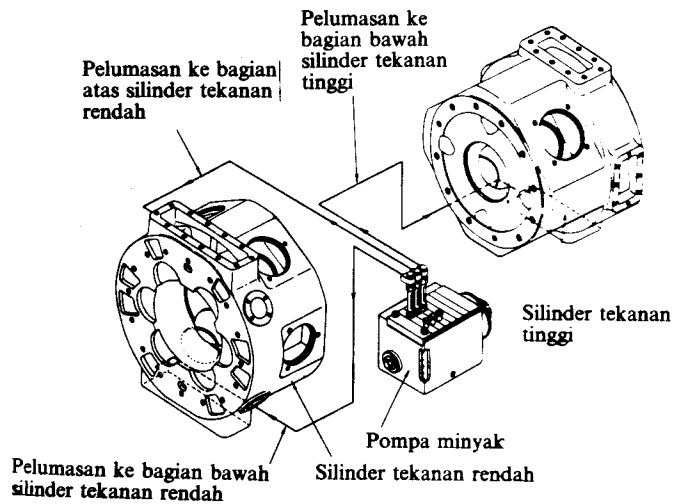
Kompresor berukuran sedang dan besar menggunakan pelumasan dalam yang



Gb. 4.11 Pelumasan percik.



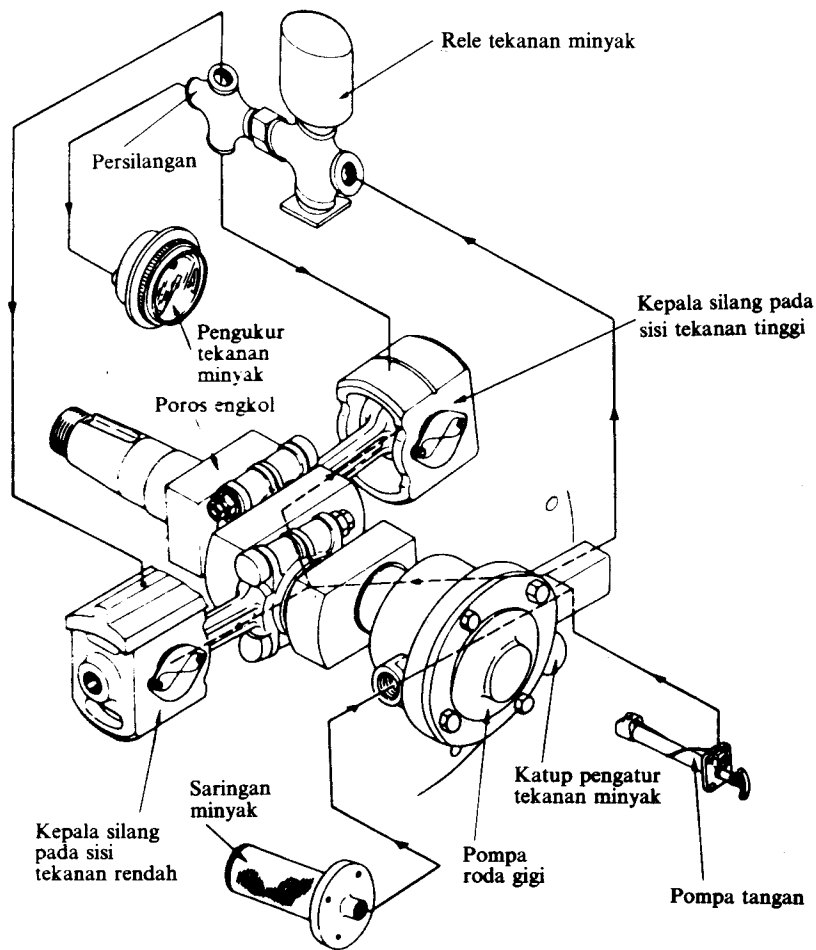
Gb. 4.12 Pelumasan paksa.



Gb. 4.13 Sistem pelumasan minyak dalam.

dilakukan dengan pompa minyak jenis plunyer secara terpisah, seperti diperlihatkan dalam Gb. 4.13. Adapun pelumasan luarnya dilakukan dengan pompa roda gigi yang dipasang pada ujung poros engkol seperti terlihat dalam Gb. 4.14.

Pompa roda gigi harus dipancing sebelum dapat bekerja. Untuk itu disediakan pompa tangan yang dipasang paralel dengan pompa roda gigi. Pada jalur pipa minyak pelumas juga perlu dipasang rele tekanan. Rele ini akan bekerja secara otomatis menghentikan kompresor jika terjadi penurunan tekanan minyak sampai di bawah batas minimum. Jika pompa mengisap udara karena tempat minyak kosong atau permukaannya terlalu rendah maka rele akan bekerja dan kompresor berhenti.



Gb. 4.14 Sistem pelumasan minyak luar.

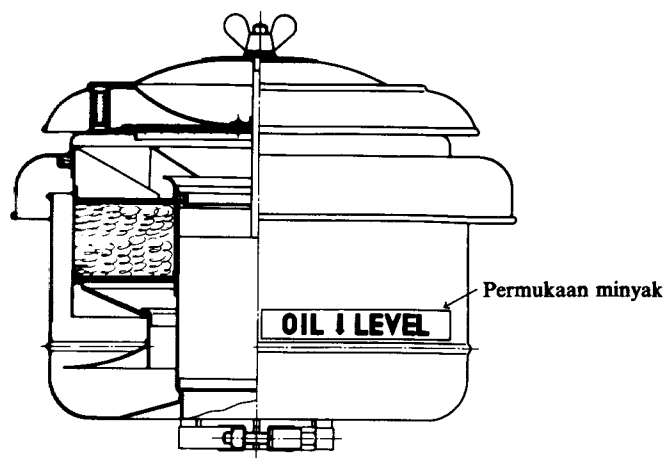
#### 4.1.8 Peralatan pembantu

Untuk dapat bekerja dengan sempurna, kompresor dilengkapi dengan beberapa peralatan pembantu. Peralatan yang penting di antaranya adalah sebagai berikut.

##### (1) Saringan udara

Jika udara yang diisap kompresor mengandung banyak debu maka silinder dan cincin torak akan cepat aus bahkan dapat terbakar. Karena itu kompresor harus dilengkapi dengan saringan udara yang dipasang pada sisi isapnya.

Saringan yang banyak dipakai saat ini terdiri dari tabung-tabung penyaring yang berdiameter 10 mm dan panjangnya 10 mm. Tabung-tabung ini ditempatkan di dalam kotak berlubang-lubang atau keranjang kawat, yang dicelupkan dalam genangan minyak. Udara yang diisap kompresor harus mengalir melalui minyak dan tabung-tabung yang lembab oleh minyak. Dengan demikian jika ada debu yang terbawa akan melekat pada saringan sehingga udara yang masuk kompresor menjadi bersih. Aliran melalui saringan tersebut sangat turbulen dan arahnya membalik hingga sebagian besar

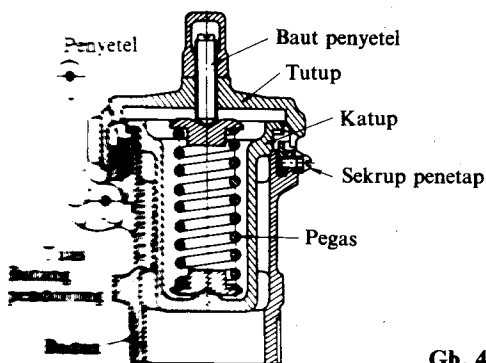


Gb. 4.15 Saringan udara jenis genangan minyak.

dan partikel-partikel debu akan tertangkap di sini. Gb. 4.15 memberikan contoh sebuah saringan udara jenis genangan minyak.

#### (2) Katup pengaman

Katup pengaman harus dipasang pada pipa keluar dari setiap tingkat kompresor. Katup ini harus membuka dan membuang udara ke luar jika tekanan melebihi 1,2 kali tekanan normal maksimum dari kompresor. Pengeluaran udara harus berhenti secara otomatis jika tekanan sudah kembali sangat dekat pada tekanan normal maksimum. Gb. 4.16 memperlihatkan penampang sebuah katup pengaman.



Gb. 4.16 Penampang katup pengaman.

#### (3) Tangki udara

Tangki udara dipasang untuk menyimpan udara tekan agar apabila ada kebutuhan udara tekan yang berubah-ubah jumlahnya dapat dilayani dengan lancar. Dalam hal kompresor torak di mana udara dikeluarkan secara berfluktuasi, tangki udara akan memperhalus aliran. Selain itu, udara yang disimpan di dalam tangki udara akan mengalami pendinginan secara pelan-pelan dan uap air yang mengembun dapat terkumpul di dasar tangki untuk sewaktu-waktu dibuang. Dengan demikian udara yang disalurkan ke pemakai selain sudah dingin, juga tidak terlalu lembab.

#### (4) Peralatan pengaman yang lain

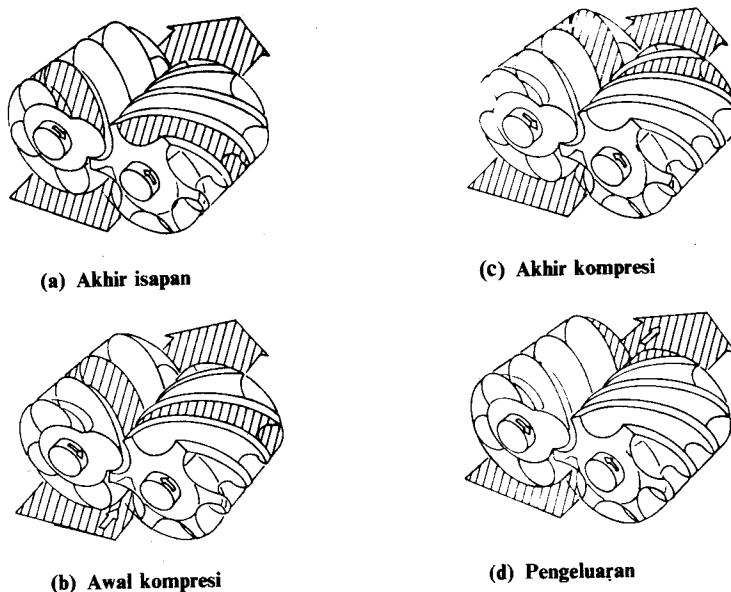
Kompresor juga memiliki alat-alat pengaman berikut ini untuk menghindari kecelakaan.

- 1) Alat penunjuk tekanan, rele tekanan udara dan rele tekanan minyak.
- 2) Alat penunjuk temperatur dan rele termal (untuk temperatur udara keluar, temperatur udara masuk, temperatur air pendingin, temperatur minyak, dan temperatur bantalan).
- 3) Rele aliran air, untuk mendeteksi aliran yang berkurang atau terhenti.

## 4.2 Konstruksi Kompresor Sekrup

Kompresor sekrup termasuk jenis kompresor perpindahan positif yang tergolong macam kompresor putar (rotary). Kompresor ini akhir-akhir ini mengalami perkembangan yang pesat. Untuk tekanan antara 7 sampai  $8,5 \text{ kgf/cm}^2$  ( $0,69 \sim 0,83 \text{ MPa}$ ) kompresor sekrup cenderung untuk lebih banyak dipakai dari pada kompresor torak.

Kompresor sekrup mempunyai sepasang rotor berbentuk sekrup. Yang satu mempunyai alur yang permukaannya cembung dan yang satu permukaannya cekung. Pasangan rotor ini berputar dalam arah saling berlawanan seperti sepasang roda gigi (Gb. 4.17). Rotor dikurung di dalam sebuah rumah. Apabila rotor berputar maka ruang yang terbentuk antara bagian cekung dari rotor dan dinding rumah akan bergerak ke arah aksial sehingga udara akan dimampatkan. Menurut Gb. 4.17, pada posisi (a) udara diisap sepenuhnya melalui lubang isap masuk ke dalam ruang alur. Isapan akan selesai setelah ruang alur tertutup seluruhnya oleh dinding rumah. Posisi (b) menunjukkan pertengahan proses kompresi di mana volume udara di dalam ruang alur sudah ada di tengah. Gambar (c) memperlihatkan akhir kompresi di mana udara yang terkurung sudah mencapai lubang keluar di ujung kanan atas dari rumah. Pada posisi (d) udara yang terkurung dalam alur tadi telah dikeluarkan sebagian hingga tinggal sebagian yang akan diselesaikan.



Gb. 4.17 Diagram proses kompresi dari kompresor sekrup.

Dari uraian di atas jelas bahwa proses pengisapan, kompresi, dan pengeluaran dilakukan secara berturutan oleh sekrup. Dengan demikian fluktuasi aliran maupun momen puntir poros menjadi sangat kecil. Selain itu, rotor yang seimbang dan berputar murni tanpa ada bagian yang bergerak bolak-balik sangat mengurangi getaran. Karena itu kompresor ini sesuai untuk beroperasi pada putaran tinggi. Dengan putaran tinggi, kompresor menjadi ringkas (ukurannya lebih kecil untuk daya yang sama dibandingkan dengan kompresor torak). Biasanya jumlah gigi atau alur adalah empat buah untuk rotor yang beralur cembung dan enam buah untuk yang beralur cekung. Namun akhir-akhir ini juga dipakai jumlah alur 5: 6 untuk memperbaiki performansi.

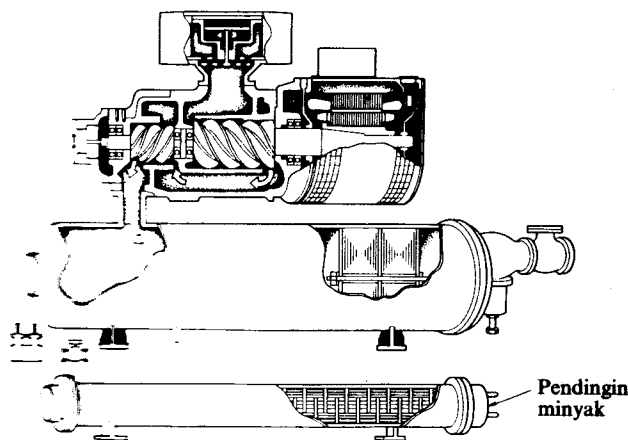
Kompresor sekrup ada dua macam yaitu jenis injeksi minyak dan jenis bebas minyak (sekrup kering). Keduanya bekerja dengan prinsip yang sama.

#### 4.2.1 Kompresor sekrup jenis injeksi minyak

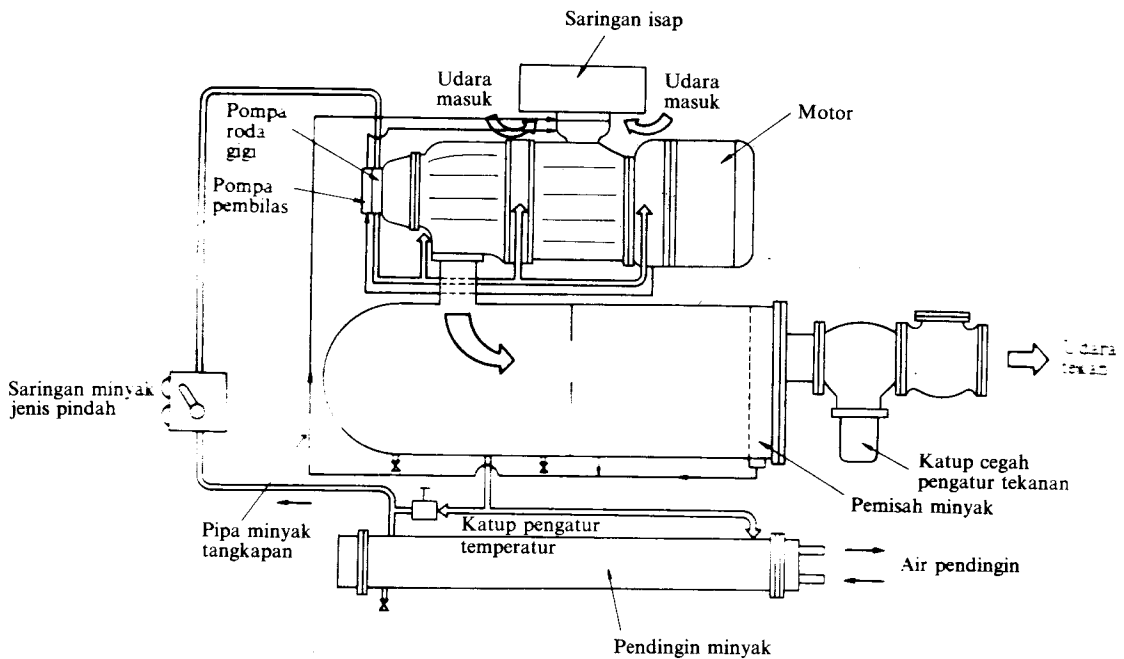
Pada kompresor ini, minyak dalam jumlah yang cukup besar diinjeksikan ke dalam ~~pelempok~~ alur rotor yang sedang saling berkait pada proses kompresi. Adapun maksudnya adalah (1) untuk mendinginkan udara yang sedang mengalami kompresi agar proses kompresinya berjalan secara isothermal, (2) untuk merapatkan celah antara alur-alur rotor yang berkait dengan dinding rumah sehingga kebocoran dapat dikurangi, (3) untuk menggerakkan rotor beralur cekung oleh rotor beralur cembung dengan memberikan pelumasan yang cukup.

Kompresor sekrup jenis injeksi minyak mempunyai tiga keistimewaan seperti tersebut di atas sedangkan konstruksinya sederhana. Biasanya kompresor ini digerakkan oleh motor listrik 2-kutub atau 4-kutub yang dihubungkan langsung dengan rotor yang beralur cembung. Sebagai bantalan rotor dipakai bantalan rol atau bantalan bola ~~kearah~~ sudut. Konstruksi dan sistem kompresor jenis ini diperlihatkan dalam Gb. 4.18 dan 4.19.

Udara yang diisap melalui saringan isap masuk ke dalam kompresor melalui katup ~~masuk~~ isap. Setelah dimampatkan lalu dialirkan bersama minyak injeksi ke dalam ~~pelempok~~ penampung minyak yang berfungsi pula sebagai penampung minyak. Udara yang dikompresi-  
~~kan~~ ~~sebelum~~ dipisahkan dari minyak lalu disalurkan melalui katup cegah pengatur tekanan. ~~Minyak~~ dalam penampung selanjutnya didinginkan oleh pendingin minyak lalu



Gb. 4.18 Konstruksi kompresor sekrup jenis injeksi.

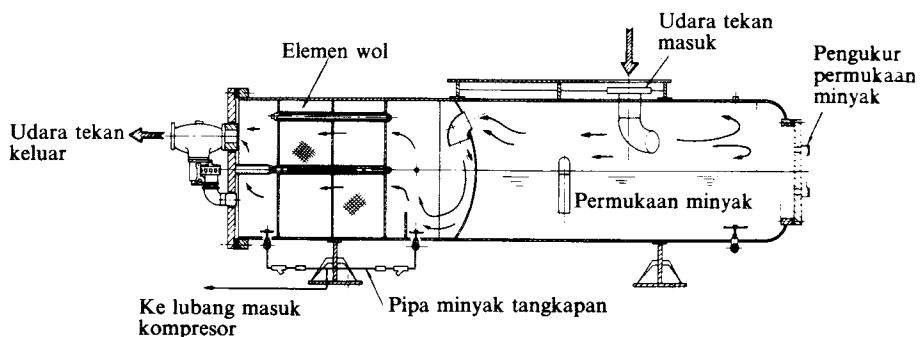


Gb. 4.19 Diagram sistem kompresor sekrup jenis injeksi minyak.

diinjeksikan kembali ke dalam kompresor oleh pompa roda gigi yang dihubungkan langsung dengan ujung poros rotor kompresor.

Temperatur minyak injeksi harus diatur dengan baik agar tidak terlalu rendah hingga terjadi pengembunan uap air di dalam penampung minyak, dan juga agar tidak terjadi oksidasi minyak karena temperatur yang terlalu tinggi. Bila kompresor dioperasikan pada tekanan rendah, kecepatan udara yang melalui pemisah minyak menjadi tinggi sehingga kemampuannya untuk memisahkan minyak menjadi turun. Untuk mengatasi masalah ini, sistem dilengkapi dengan katup cegah pengatur tekanan untuk mencegah aliran balik dan untuk menjaga tekanan keluar supaya tetap di atas 4 sampai 5  $\text{kgf/cm}^2$  (0,39 sampai 0,49 MPa).

Dalam Gb. 4.20 diperlihatkan konstruksi sebuah pemisah minyak. Alat ini berfungsi sebagai pemisah minyak dan penampung minyak serta udara. Udara tekan yang mengandung banyak minyak membentur dinding luar pemisah minyak dan kemudian



Gb. 4.20 Konstruksi pemisah minyak.



sebagian besar minyak terpisah serta jatuh ke penampung di bawah. Partikel-partikel minyak yang halus dan terbawa oleh aliran udara akan tertangkap oleh elemen wol lalu terkumpul di dasar pemisah wol ini. Minyak yang terkumpul akan disirkulasikan kembali ke dalam lubang isap kompresor melalui pipa minyak tangkapan.

Pendingin minyak menggunakan air sebagai pendingin (Gb. 4.18). Air mengalir melalui pipa dan minyak dari penampung dialirkan di sebelah luar pipa di dalam bejana pendingin hingga turun temperaturnya menjadi 50 sampai 60°C.

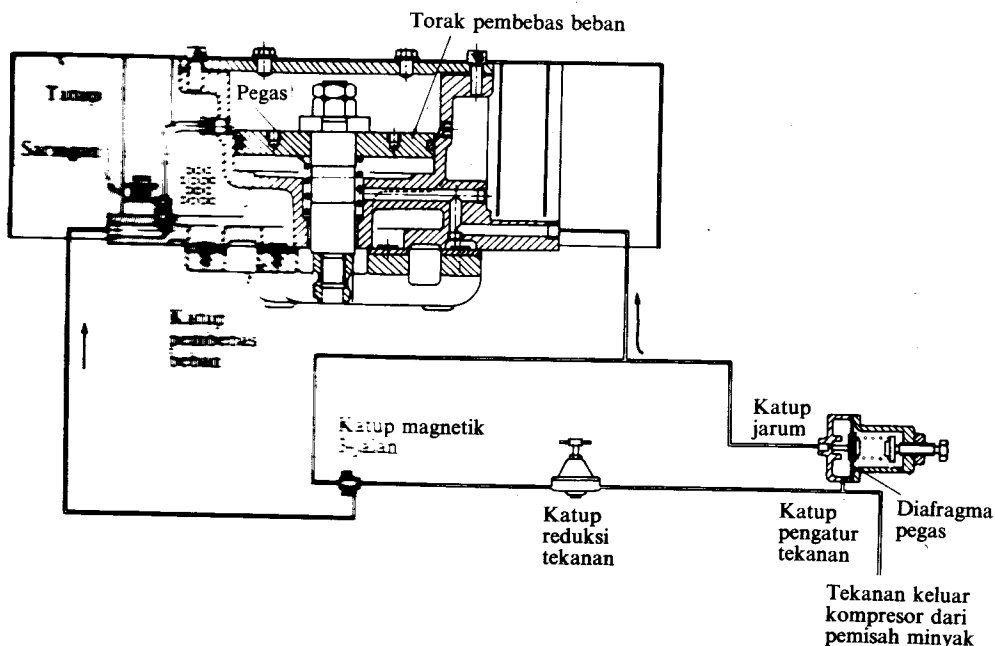
Kompresor sekrup jenis injeksi minyak diperlengkapi dengan peralatan seperti di bawah ini.

#### (1) Alat pengatur kapasitas

Untuk mengatur kapasitas kompresor sekrup jenis injeksi minyak, umumnya dipakai pembebas beban trotel isap. Untuk kompresor yang besar juga dipakai katup geser sebagai pembebas beban. Kedua jenis alat ini bekerja sebagai berikut.

##### (a) Pembebas beban trotel isap

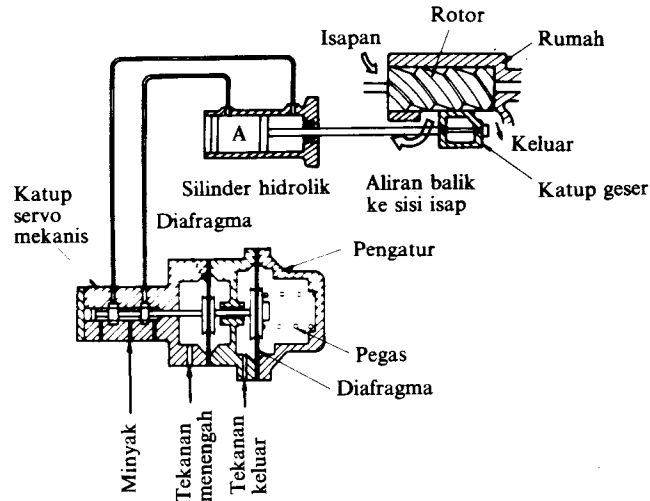
Alat ini akan merasakan kenaikan tekanan keluar dalam kompresor dan mengatur volume aliran udara dari 100% sampai 0% tanpa bertingkat dengan jalan menutup katup pembebas beban secara berangsur-angsur. Seperti diperlihatkan dalam Gb. 4.21, tekanan udara keluar kompresor pada pemisah minyak disalurkan ke sisi atas torak pembebas beban melalui katup reduksi tekanan. Tekanan udara dari pemisah minyak juga disalurkan ke sisi bawah torak pembebas beban melalui katup pengatur tekanan. Jika tekanan udara di dalam pemisah minyak naik melebihi yang ditentukan, katup pengatur tekanan akan terbuka dan udara mulai mengalir. Aliran udara ini akan menggerakkan torak pembebas beban untuk mengurangi volume udara yang diisap. Katup magnetik 3-jalan akan mengatur udara untuk menutup cepat katup pembebas beban untuk mencegah aliran balik udara di dalam pada waktu kompresor dihentikan.



Gb. 4.21 Pembebas beban dengan trotel isap.

## (b) Pembebas beban jenis katup geser

Pembebas beban jenis ini mempunyai katup geser yang dapat digerakkan dalam arah aksial pada ujung rumah di sisi keluar. Adapun konstruksi dan cara kerjanya diperlihatkan dalam Gb. 4.22. Pada pembebanan 100%, yaitu pada kapasitas normal, katup geser ada pada posisi paling kiri. Jika kapasitas (kebutuhan) berkurang, tekanan



Gb. 4.22 Pembebas beban dengan katup geser.

akan naik. Kenaikan tekanan keluar ini dideteksi oleh pengatur. Maka katup servo mekanis akan bekerja dan minyak bertekanan mengalir masuk silinder hidrolik pada sisi A. Karena dorongan minyak, katup geser akan bergerak ke sebelah kanan, dan sebagian udara yang diisap akan dikembalikan ke sisi isap tanpa dikompresikan. Dengan demikian laju aliran udara keluar kompresor akan disesuaikan dari 100% menjadi misalnya 30%, secara berangsur-angsur tanpa bertingkat.

## (c) Cara lain

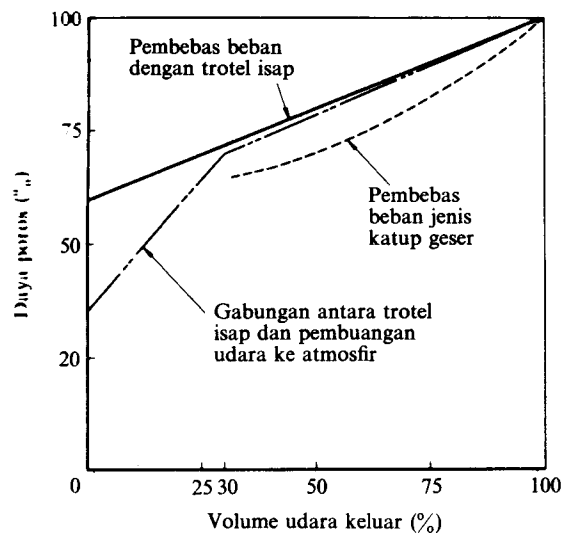
Di samping cara tersebut di atas ada metoda lain yang digunakan untuk kompresor kecil. Pada cara ini pembebas beban jenis trotel isap digabungkan dengan alat untuk membocorkan udara dari separator ke atmosfer. Di sini pembebas beban trotel isap dipergunakan untuk mengurangi kapasitas dari 100% sampai 30%. Untuk menurunkan kapasitas lebih lanjut, titik kapasitas 30% dideteksi oleh sebuah tombol tekanan yang akan membuka katup untuk membocorkan udara di dalam pemisah minyak ke atmosfer dan menutup penuh trotel isap.

Pengaruh dari kerja masing-masing pembebas beban tersebut diberikan dalam Gb. 4.23.

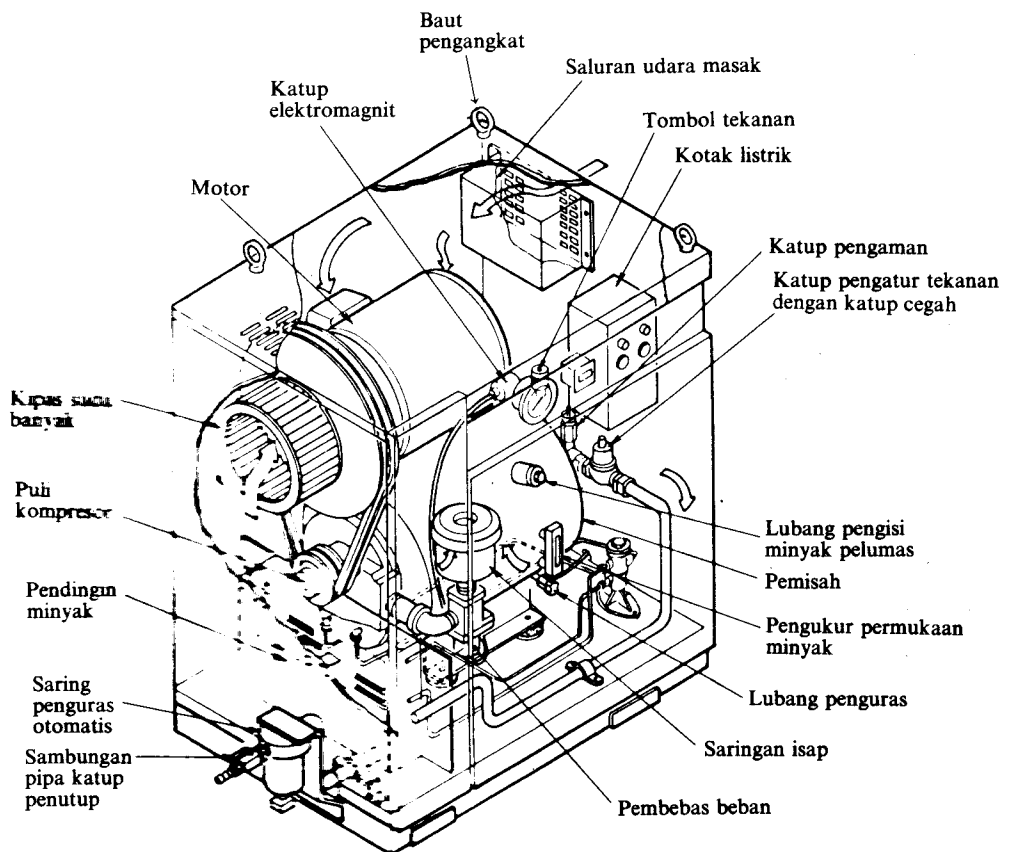
## (2) Peralatan pembantu kompresor

Peralatan pembantu pada kompresor sekrup adalah sama seperti yang diperlukan untuk kompresor torak, kecuali satu hal. Kompresor sekrup tidak memerlukan tangki udara, kecuali pada kompresor yang menggunakan injeksi minyak. Di sini pemisah minyak berfungsi seperti tangki udara.

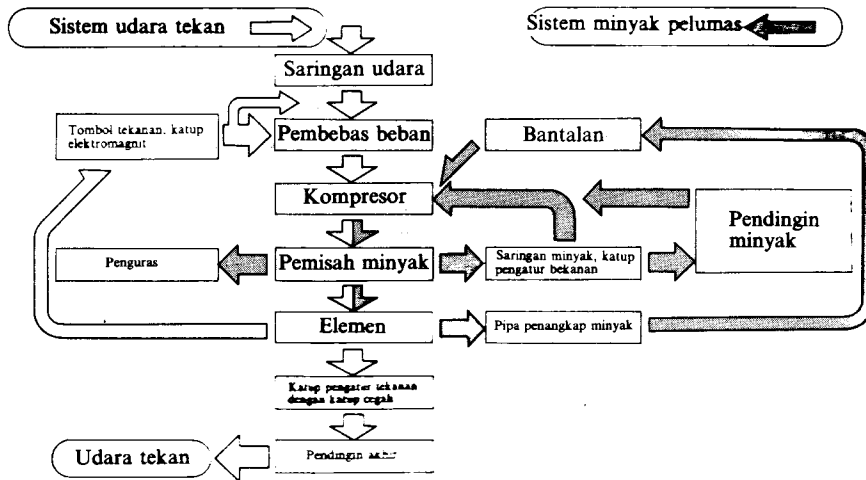
Untuk kompresor sekrup berukuran kecil dengan injeksi minyak yang berdaya kurang dari 100 kW, terdapat kemasan di mana badan kompresor dan semua peralatan pembantunya terselubung bahan isolasi suara sehingga bentuknya padat dan operasinya



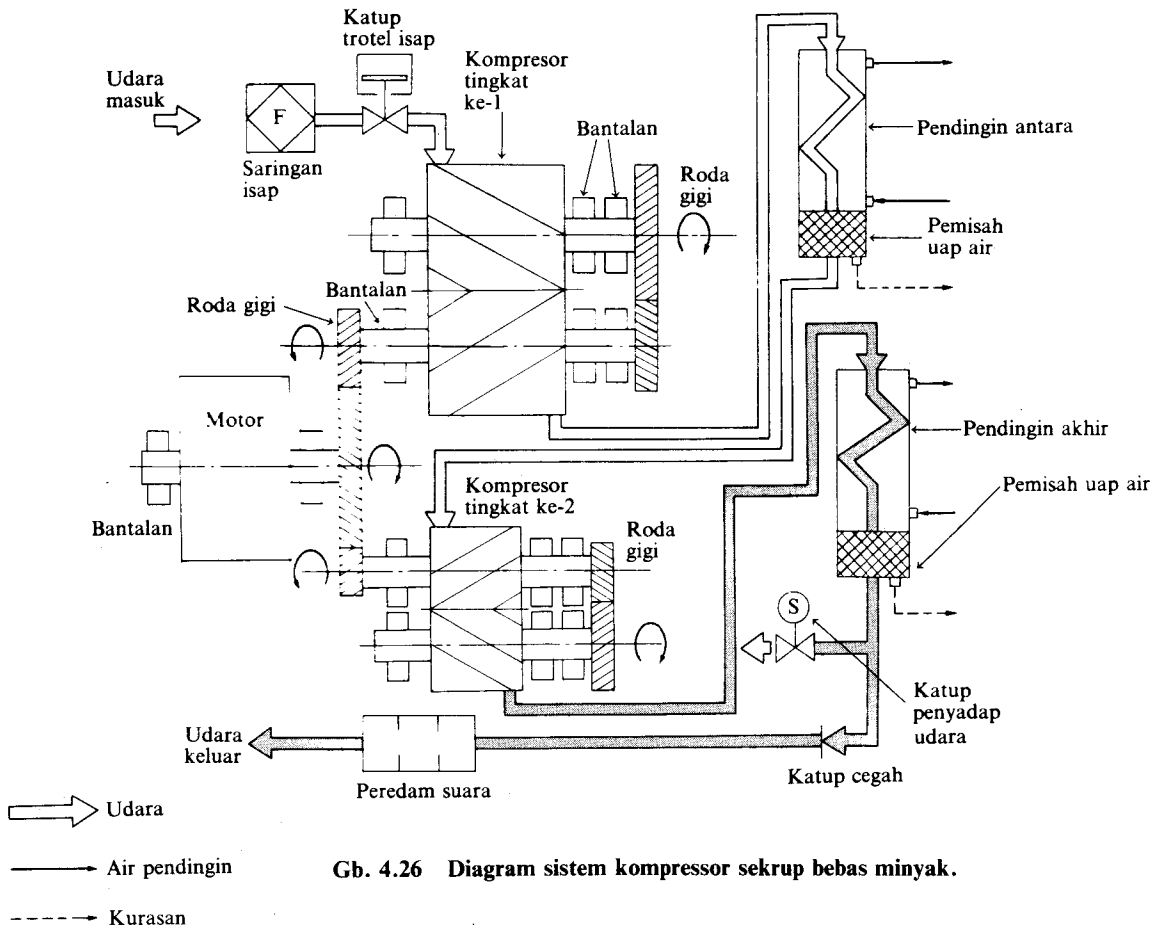
Gb. 4.23 Karakteristik dan pengaruh berbagai pembebas beban.



Gb. 4.24 Kompresor sekrup kecil jenis injeksi minyak.



Gb. 4.25 Diagram sistem.



Gb. 4.26 Diagram sistem kompresor sekrup bebas minyak.

tidak berisik. Pandangan dari luar kompresor semacam ini terdapat dalam Gb. 4.24 di mana diagram sistemnya diberikan dalam Gb. 4.25.

#### 4.2.2 Kompresor sekrup jenis bebas minyak

Gb. 4.26 memperlihatkan diagram sistem dari kompresor jenis ini. Di sini ditunjukkan kompresor 2-tingkat di mana rotor yang beralur cembung pada tingkat-1 dan tingkat-2 mempunyai empat gigi. Rotor ini digerakkan melalui roda gigi peningkat putaran.

Rotor yang beralur cekung mempunyai 6 gigi dan yang beralur cembung mempunyai 4 gigi. Kedua rotor ini berputar dalam arah berlawanan dengan perbandingan putaran 2:3 yang diperoleh melalui sepasang roda gigi. Rotor ditumpu kedua ujungnya oleh bantalan rol. Salah satu ujungnya diberi bantalan aksial untuk menahan gaya aksial yang timbul dari perbedaan tekanan udara yang bekerja pada kedua ujung rotor. Celah antara paku gigi rotor dan dinding dalam rumah dibuat tetap, sedangkan celah antara kedua rotor dapat dijaga tetap baik dengan menyesuaikan kelonggaran pasangan roda gigi. Jadi karena tidak ada sentuhan antara gigi dengan gigi rotor maupun antara gigi rotor dengan rumah maka tidak diperlukan pelumasan. Untuk merapatkan poros pada rumah agar kebocoran udara dapat dicegah) dipergunakan perapat labirin yang terbuat dari cincin-cincin karbon. Untuk mencegah minyak terisap ke dalam rumah, poros ditutupi dengan paking penyapu minyak di antara bantalan dan paking poros. Sebagian minyak pelumas mengalir melalui sebuah lubang pada ujung poros rotor menuju tengah rotor untuk mendinginkan rotor. Kompresor sekrup bebas minyak bekerja dengan putaran tinggi sampai beberapa ribu rpm untuk menghindari performansi yang buruk karena kebocoran melalui kelonggaran-kelonggaran yang ada. Putaran tinggi ini dapat dicapai dengan menggunakan roda gigi peningkat putaran.

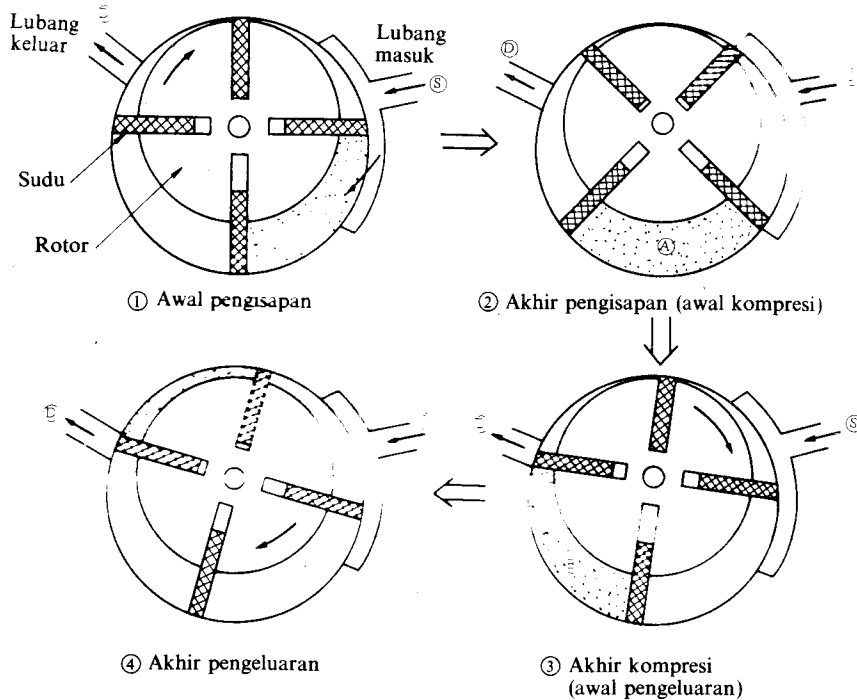
Udara dikompresikan sampai tekanan menengah oleh kompresor tingkat pertama, kemudian didinginkan di pendingin antara. Pada tingkat ke dua udara dikompresikan lebih lanjut sampai tekanan keluar dan didinginkan lagi di pendingin akhir. Pada pipa keluar dipasang tutup cegah. Berbeda dengan jenis injeksi minyak, kompresor ini tidak mempergunakan minyak di antara rotornya sehingga udara yang dihasilkan akan bersih dan bebas minyak.

### 4.3 Konstruksi Kompresor Sudu Luncur

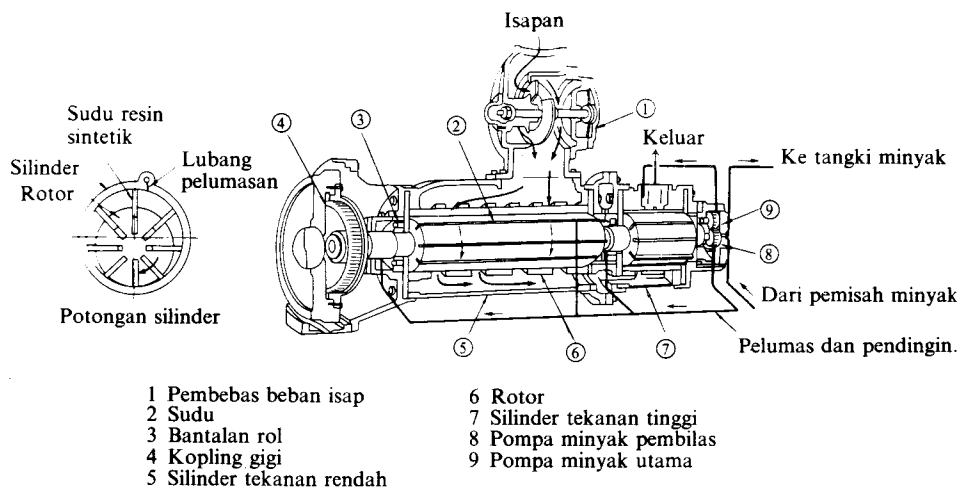
Kompresor ini mempunyai rotor yang dipasang secara eksentrik di dalam rumah yang berbentuk silinder. Pada rotor terdapat beberapa parit dalam arah aksial di mana dipasang sudu-sudu. Cara kerjanya diperlihatkan dalam Gb. 4.27. Dalam gambar ini ditunjukkan sebuah kompresor dengan empat buah sudu. Ruangan antara rotor dan rumah dibagi-bagi oleh sudu. Jika rotor berputar, volume ruangan yang dibatasi oleh dua sudu mula-mula membesar sehingga udara akan terisap melalui lubang isap, kemudian mengecil lagi sehingga udara akan dikompresikan dan dikeluarkan melalui lubang keluar. Penempatan lubang keluar akan menentukan besarnya tekanan yang dapat dicapai.

Kompresor sudu luncur yang besar mempunyai dua tingkat kompresi (Gb. 4.28) sedangkan yang berkapasitas kecil hanya mempunyai satu tingkat kompresi. Kompresor dua tingkat mempunyai diameter silinder dan rotor yang sama untuk masing-masing tingkat. Namun panjangnya tidak sama: kompresor tingkat kedua lebih pendek.

Rotor dibuat menjadi satu dengan poros dan kedua ujungnya ditumpu dengan bantalan rol. Rotor tekanan rendah dan tekanan tinggi disambungkan dengan poros



Gb. 4.27 Azas kerja kompresor sudu luncur.



Gb. 4.28 Kompresor sudu luncur 2-tingkat.

binatang (spline) atau kopling gigi. Ujung poros pada sisi tekanan tinggi dipasang pompa minyak dan pompa pembilas minyak. Pompa minyak dipakai untuk mengisap dan menyalurkan minyak pelumas dengan tekanan ke pendingin, sedangkan pompa pembilas minyak dipakai untuk mengeluarkan minyak yang terkumpul di dekat lubang keluar pemisah minyak dan menyalurkannya ke tangki minyak. Beberapa kompresor tidak mempunyai pompa minyak. Untuk pendinginan, minyak disalurkan ke dalam kompresor dengan tekanan keluarnya sendiri. Beberapa kompresor yang tidak mem-

punyai pompa pembilas minyak dan langsung mengisap minyak yang terkumpul di dekat lubang keluar pemisah minyak dengan isapan dari kompresor.

Kompresor dilengkapi dengan sebuah pembebas beban pada tempat masuk silinder di sisi tekanan rendah untuk mengatur jumlah udara yang diisap.

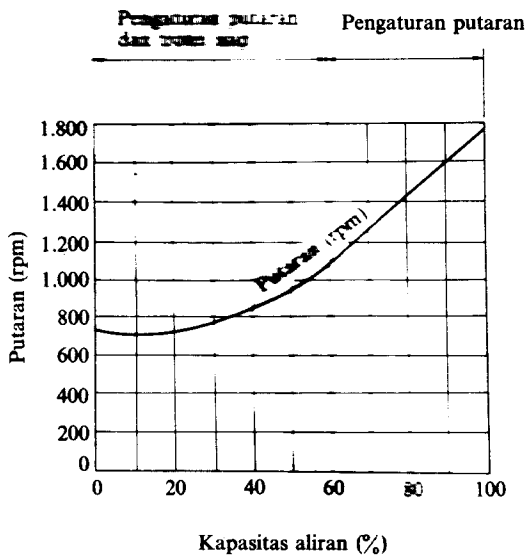
Sudu-sudu yang dipasang pada parit-parit rotor akan meluncur keluar masuk parit selama rotor berputar. Ujung sudu-sudu ini meluncur pada permukaan dalam silinder. Untuk ini dipakai sudu dari resin phenol yang tahan aus dan deformasi. Minyak pelumas dipergunakan untuk pendinginan, pelumasan, dan pencegahan kebocoran; minyak dikeluarkan bersama-sama dengan udara keluar. Udara yang tercampur minyak ini, seperti pada kompresor sekrup, disalurkan ke pemisah minyak. Minyak yang sudah terpisah kemudian didinginkan di pendingin untuk disirkulasikan kembali.

Tekanan kerja kompresor ini adalah sebesar  $7 \text{ kgf/cm}^2$  ( $0,69 \text{ MPa}$ ) untuk satu tingkat dan  $14 \text{ kgf/cm}^2$  ( $0,98 \text{ MPa}$ ) untuk dua tingkat.

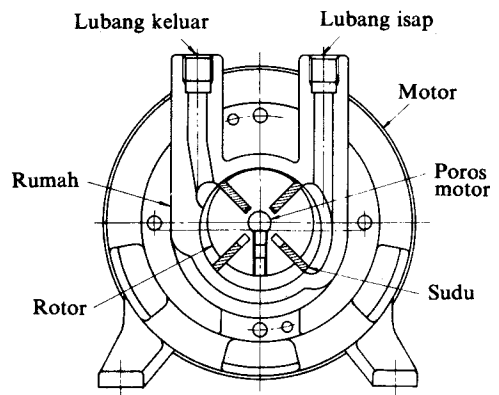
Kompresor sudu luncur adalah sangat ringkas dan ringan serta cocok untuk dihubungkan langsung dengan motor bakar torak. Karena itu kompresor ini umumnya digunakan sebagai kompresor portabel. Model-model standar yang berkapasitas 4 sampai  $17 \text{ m}^3/\text{min}$  serta berdaya 30 sampai 130 kW banyak dipakai dalam pekerjaan sipil.

Pengaturan kapasitas pada kompresor yang digerakkan oleh motor bakar torak dapat dilakukan dengan mengatur putaran motor dengan governor yang digabungkan dengan cara memotol isapan kompresor. Sebagai contoh, dalam Gb. 4.29 diperlihatkan pengaturan putaran motor untuk kapasitas 100 sampai 60%, dan pengaturan putaran yang digabungkan dengan trotel isap untuk kapasitas 60 sampai 0%.

Seperti ditunjukkan di atas, jenis injeksi minyak adalah jenis yang paling sering dipakai pada kompresor sudu luncur. Namun untuk kompresor kecil dengan daya kurang dari 75 W maka digunakan jenis bebas minyak dengan sudu karbon. Kompresor ini hanya sesuai untuk tekanan rendah karena masalah kebocoran dan pendinginan. Tekanan maksimum yang mungkin biasanya sebesar  $0,5 \text{ kgf/cm}^2$  ( $0,049 \text{ MPa}$ ). Gb. 4.30 memperlihatkan penampang kompresor kecil bebas minyak.



Gb. 4.29 Pengaturan kapasitas dari kompresor sudu luncur.



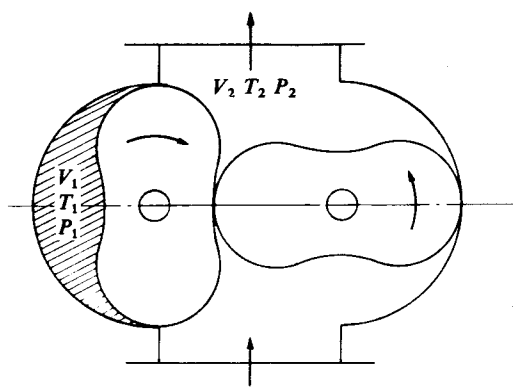
Gb. 4.30 Kompresor sudu luncur kecil (jenis bebas minyak).

#### 4.4 Konstruksi Blower Jenis Roots

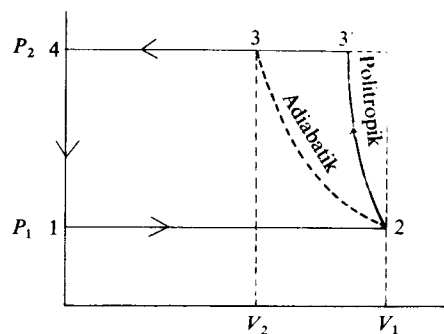
Blower jenis roots mempunyai dua buah rotor yang masing-masing mempunyai dua buah “gigi” dan bentuknya mirip kepompong. Kedua rotor berputar serempak dengan arah saling berlawanan di dalam sebuah rumah. Sumbu gigi dari rotor yang satu selalu membentuk sudut  $90^\circ$  terhadap sumbu gigi rotor yang lain. Gb. 4.31 memperlihatkan konstruksi sebuah blower roots.

Jika rotor diputar dalam arah panah, seperti ditunjukkan dalam gambar, maka gas yang terkurung antara rotor dan rumah akan dipindahkan dari sisi isap ke sisi keluar. Karena cara pemindahannya itu secara demikian maka blower ini termasuk jenis perpindahan positif.

Untuk menjaga agar sumbu-sumbu gigi dari kedua rotor tersebut tetap saling membentuk sudut  $90^\circ$  maka kedua poros rotor ini harus saling dihubungkan dengan sepasang roda gigi kembar. Dengan demikian antara sesama gigi rotor dan dinding rumah bagian dalam terdapat kelonggaran yang dapat dijaga tetap besarnya sehingga tidak pernah terjadi sentuhan antara yang satu dengan yang lain. Hal ini memungkinkan blower bekerja tanpa pelumasan dalam, sehingga gas yang dihasilkan menjadi bebas minyak.



Gb. 4.31 Blower jenis roots.



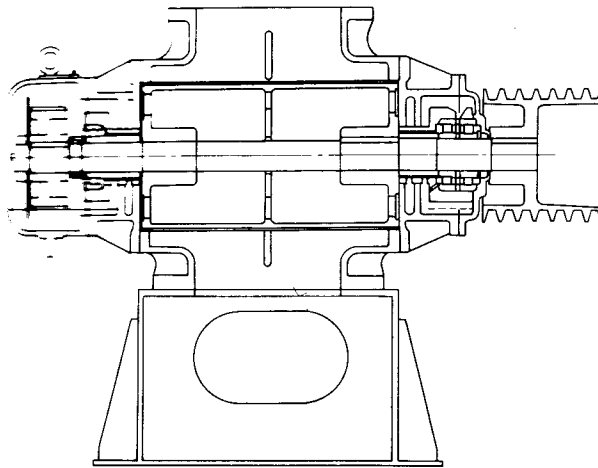
Gb. 4.32 Kerja kompresi dalam blower jenis roots.

Tekanan yang dapat dipakai dari blower ini dalam praktek adalah sekitar  $0,8 \text{ kgf/cm}^2$  ( $0,079 \text{ MPa}$ ) untuk 1 tingkat kompresi, dan  $2,0 \text{ kgf/cm}^2$  ( $0,20 \text{ MPa}$ ) untuk 2 tingkat. Adapun kapasitas yang dapat dihasilkan adalah antara 2 sampai  $200 \text{ m}^3/\text{min}$ .

Cara kerja blower ini dapat diterangkan sebagai berikut. Dengan berputarnya rotor maka udara akan terisap dari sisi isap, lalu dikurung di antara rotor dan dinding rumah di sebelah kiri dan kanan secara bergantian. Udara yang terkurung ini didorong terus oleh rotor hingga sampai ke sisi keluar. Di sisi udara akan dikompresikan dengan tiba-tiba karena tekanan di sisi keluar lebih tinggi dari pada tekanan gas sewaktu masih dalam keadaan terkurung tadi. Jika gas pada sisi isap (dan juga pada waktu masih terkurung) mempunyai tekanan  $P_1$  (MPa) dan volume  $V_1$  ( $\text{m}^3/\text{kg}$ ), maka setelah sampai ke sisi keluar tekanannya akan mencapai  $P_2$  dan volumenya menjadi  $V_2$ . Gb. 4.32 memperlihatkan bagaimana proses kompresi tersebut berlangsung.

Besarnya kerja yang diperlukan secara ideal dapat dinyatakan dengan luas diagram 1-2-3-4, di mana proses kompresi 2-3 merupakan proses adiabatik. Namun karena dalam proses yang sesungguhnya terjadi kerugian-kerugian gesek maka kerja yang diperlukan oleh blower yang sesungguhnya adalah luas 1-2-3'-4. Di sini proses kompresi





Gb. 4.33 Potongan memanjang dari blower jenis roots.

2-3 merupakan proses politropik dengan harga indeks  $n$  sebesar 1,56 sampai 1,8. (Untuk kompresi adiabatik harga ini adalah  $k = 1,4$ ). Harga indeks  $n$  yang besar pada blower roots ini disebabkan oleh besarnya kerugian gesek yang terjadi. Kerugian ini sebagian besar disebabkan oleh aliran gas yang membalik pada saat ruang yang mengandung gas bertekanan  $P_1$  terhubung dengan sisi keluar yang bertekanan  $P_2$ , di mana  $P_2$  lebih tinggi dari  $P_1$ .

Gbr. 4.33 menunjukkan konstruksi blower jenis roots yang umum untuk industri. Rotor terbuat dari besi cor bermutu tinggi atau paduan logam ringan. Poros dipasang pada rotor dan ditumpu oleh bantalan bola dan rol yang terdapat di kedua ujung rumah. Rotor yang dipakai dapat diatur kelonggarannya secara teliti untuk menjaga kekongruenan atau celah yang sangat kecil antara rotor dengan rotor dan antara rotor dengan rumah.

Blower jenis roots mempunyai performansi yang terletak antara blower sentrifugal dan kompresor torak. Blower root mempunyai beberapa kelebihan, yaitu tidak dapat menimbulkan suapan, putarannya mudah divariasikan, kapasitas mudah diatur dengan jalan putar dan bebas minyak. Blower ini sesuai untuk gas-gas yang lebih ringan dari pada udara seperti gas kota, dan banyak dipakai sebagai sumber penyediaan udara tekan untuk pengangkutan serbuk dan partikel halus pada jarak pendek. Blower ini juga banyak dipergunakan sebagai supercharger untuk motor bakar torak.

Karena blower jenis roots menghasilkan aliran yang berpulsi sehingga sering menimbulkan bunyi maka biasanya diperlukan peredam bunyi sebagai salah satu peralatan pembantu.

## 4.5 Peralatan Pembantu

Beberapa peralatan pembantu yang penting untuk blower roots adalah sebagai berikut.

### 4.5.1 Peredam bunyi

Peredam bunyi dipasang pada sisi isap dan sisi keluar untuk mengurangi kebisingan yang timbul di tempat-tempat tersebut. Berbagai peredam bunyi yang dikenal saat ini

dapat digolongkan atas jenis rongga, jenis resonansi, dan jenis penyerap bunyi. Dalam peredam bunyi yang sesungguhnya ketiga jenis ini sering digabungkan menjadi satu.

Karena bentuk dan ukuran peredam sangat tergantung pada laju volume udara, tekanan keluar, temperatur, dan intensitas denyutan dalam kompresor. pada waktu memesan alat ini data tersebut harus diberikan kepada pembuatnya. Di samping itu perlu pula diberikan keterangan mengenai lingkungan di sekitar kompresor, pemakaian dan tingkat kebisingannya.

Jika kapasitas satuan kompresor cukup besar atau beberapa kompresor dipergunakan di satu tempat, maka tempat pengisapan dapat disatukan pada sebuah ruang peredam bunyi. Ruang ini berupa sebuah kamar yang dilapisi dengan bahan penyerap bunyi.

#### 4.5.2 Pendingin akhir

Udara yang diisap dan dimampatkan di dalam kompresor akan mengandung uap air dalam jumlah cukup besar. (Lihat butir 2.1.4). Jika uap ini didinginkan di dalam udara yang keluar dari kompresor maka uap akan mengembun menjadi air. Air ini akan terbawa ke mesin-mesin atau peralatan yang menggunakan udara tekan tersebut seperti mesin perkakas, dsb. Akibatnya mesin-mesin tersebut dapat mengalami gangguan pada pelumasannya atau mengalami korosi pada beberapa bagiannya. Selain itu pipa-pipa dan katup-katup dapat mengalami korosi, sedangkan adanya air dalam pemipaan dapat menimbulkan benturan air (water hammer) serta memperbesar tahanan gesek pipa.

Di tempat-tempat yang bersuhu di bawah  $0^{\circ}\text{C}$ , air dapat membeku di pipa-pipa dan dapat mengakibatkan pecahnya pipa.

Pendingin akhir dipergunakan untuk menghilangkan kelembaban dan kandungan minyak yang terdapat dalam udara tekan. Jika pendingin ini dipasang di dekat kompresor, maka sebagian pipa keluar akan mengalirkan udara yang sudah dingin dan bersih dari minyak. Dengan demikian pembentukan lapisan karbon pada pipa (yang biasanya terjadi pada pipa yang panas) dapat dikurangi.

Pendingin akhir terdiri dari bagian pendingin dan bagian pemisah untuk menampung zat cair yang mengembun.

Dipandang dari segi konstruksinya, pendingin akhir terdapat dalam dua jenis, yaitu jenis sangkar tabung (tube nest) atau jenis selubung dan tabung (shell and tube), dan jenis kumparan tabung.

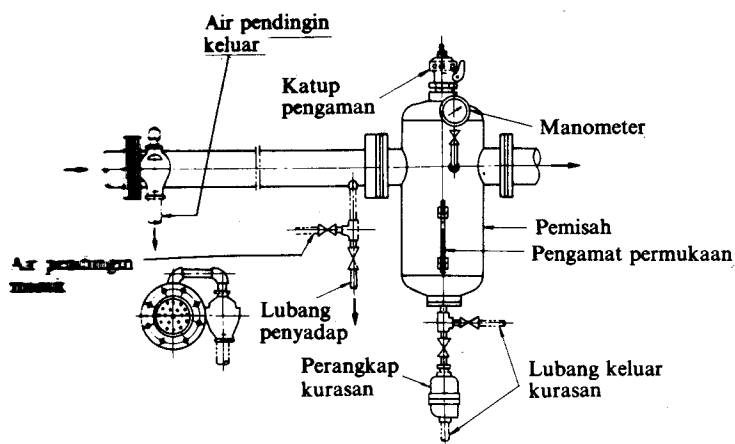
Jenis sangkar tabung banyak dipakai untuk tekanan sampai  $30 \text{ kgf/cm}^2$  ( $2,9 \text{ MPa}$ ) di mana ada dua versi, yaitu yang dipasang mendatar, dan dipasang tegak. Jika untuk ini digunakan pipa-pipa panjang yang berdiameter kecil, maka luas pendinginan yang besar dapat diperoleh dengan luas lantai yang kecil. (Lihat Gb. 4.34).

Jenis kumparan (atau lilitan) tabung dipakai untuk tekanan tinggi lebih dari  $30 \text{ kgf/cm}^2$ . Kapasitas pendinginannya agak kurang berhubungan dengan konstruksinya, yaitu terdiri dari kumparan pipa yang ditempatkan di dalam tangki air.

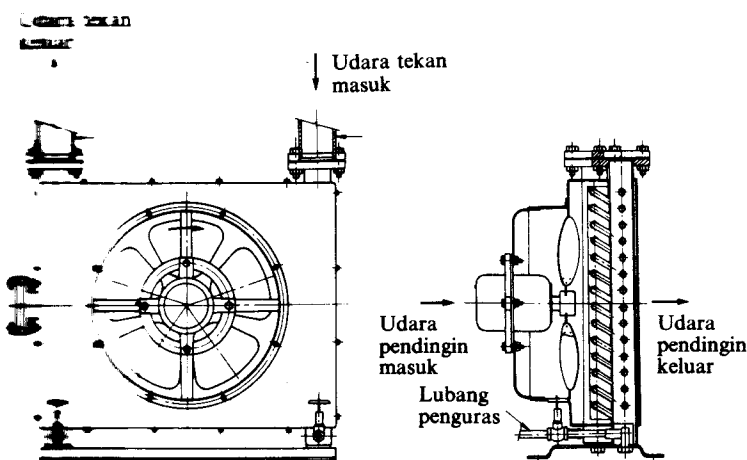
Jenis yang dipasang tegak hanya memerlukan luas lantai yang kecil saja. Namun untuk membongkarnya agak sulit sebab harus ditarik ke atas. Selain itu pembuangan air juga memerlukan peralatan yang agak rumit.

Jenis yang dipasang mendatar dapat dilayani dengan lebih mudah, namun memerlukan luas lantai yang lebih besar. Meskipun demikian, karena pendingin ini biasanya ditempatkan sejajar dinding atau jendela, ruangan tidak banyak menimbulkan masalah.

Pada kompresor kecil, pendingin akhir yang didinginkan dengan udara sering dipakai. Di sini dipergunakan tabung-tabung bersirip yang didinginkan dengan udara yang ditipukan oleh sebuah kipas angin. (Lihat Gb. 4.35).



Gb. 4.34 Pendingin akhir dengan pendinginan air (jenis selubung dan tabung).



Gb. 4.35 Pendingin akhir yang didinginkan dengan udara.

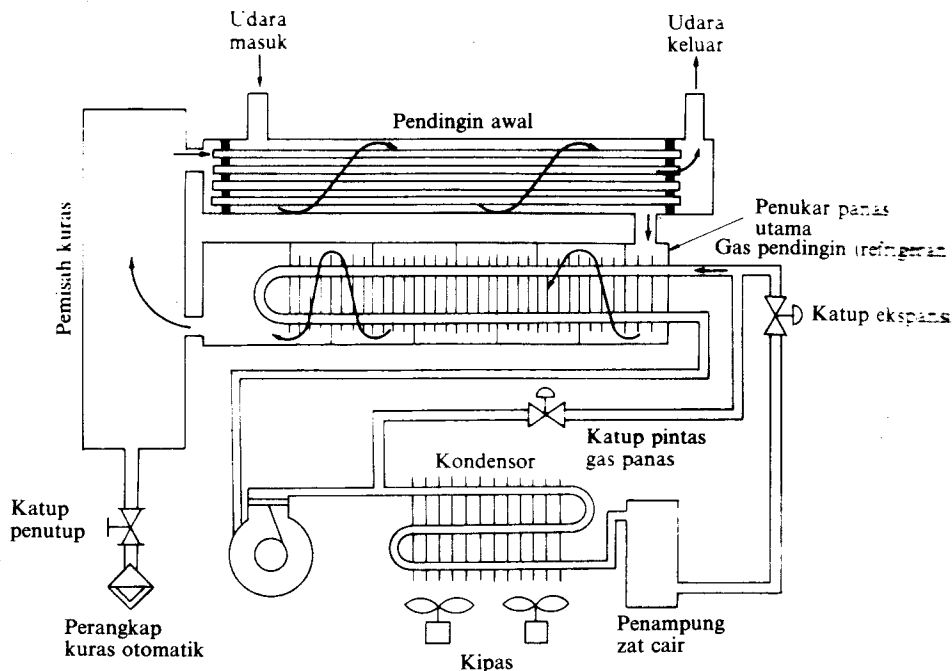
Pemisah untuk memisahkan uap yang mengembun dari udara juga terdapat dalam berbagai jenis seperti jenis saringan, jenis tumbukan (impact), jenis ekspansi, dan jenis siklon.

#### 4.5.3 Pengering

Jika udara yang keluar dari pendingin akhir perlu dikeringkan secara lebih sempurna, maka diperlukan sebuah pengering. Alat ini terdapat dalam beberapa jenis. Namun yang paling umum adalah pengering jenis pendinginan (refrijerasi), dan jenis penyerapan (adsorpsi).

Pengering jenis pendinginan dipergunakan jika titik embun akhir yang diperlukan adalah lebih tinggi dari  $2^{\circ}\text{C}$  pada tekanan di pipa keluar.

Gb. 4.36 memperlihatkan pengeringan dengan pendinginan. Udara tekan di-



Gh. 4.36 Diagram sistem pengering udara.

dinginkan awal pada penukar panas udara ke udara, lalu dialirkan ke penukar panas utama. Di sini udara didinginkan sepenuhnya dan sebagian uap air diimbunkan menjadi air lalu dipisahkan di pemisah kuras.

Udara tekan yang keluar dari penukar panas utama dialirkan melalui sirkit sekunder dari pendingin utama untuk menurunkan temperatur udara yang baru saja masuk sirkit primer. Selanjutnya udara disalurkan kepada pemakai setelah mengalami kenaikan temperatur di pendingin awal.

Pengering jenis adsorpsi mempergunakan desikan untuk menyerap uap air dari udara. Pengering ini terutama dipakai untuk instrumen atau proses-proses yang memerlukan titik embun lebih rendah dari  $-40^{\circ}\text{C}$  pada tekanan udara yang bersangkutan.

Desikan adalah bahan kimia yang dapat menyerap uap air pada permukaannya. Zat ini dapat dipergunakan berulang-ulang dengan setiap kali mengeluarkan kembali air yang diserap dengan jalan memanaskan. Desikan yang banyak dipakai adalah silica gel dan alumina yang diaktifkan.

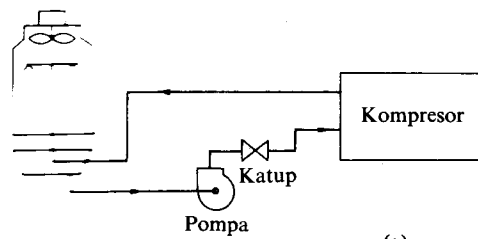
Pengering adsorpsi mempunyai dua buah silinder. Satu silinder dipakai untuk mengeringkan udara dan yang lain untuk regenerasi desikan dengan pemanasan. Jika regenerasi telah berlangsung beberapa saat dan sifat desikan sudah pulih kembali, udara dialirkan ke silinder ini, dan pada silinder yang pertama dilakukan regenerasi. Jadi desikan di kedua silinder ini digunakan dan diregenerasikan secara bergantian menurut jangka waktu tertentu.

Pengering adsorpsi dapat memberikan efek pengeringan yang lebih tinggi dari pada pengering jenis pendinginan, namun biaya operasinya lebih tinggi.

#### 4.5.4 Menara pendingin

Kompresor dengan pendinginan air memerlukan aliran air bertemperatur rendah.

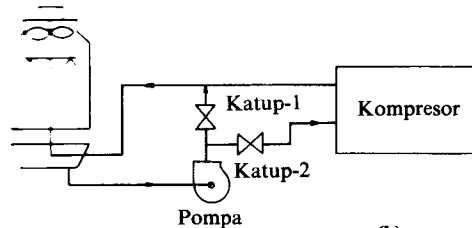
Menara pendingin



Jumlah air yang melalui kompresor dan menara pendingin adalah sama.

(a)

Menara pendingin



Jumlah air yang melalui kompresor lebih kecil dari pada yang melalui pompa.

(b)

Gb. 4.37 Menara pendingin.

secara terus menerus. Jika air ini tidak dapat diperoleh secara alamiah, maka air perlu dipompakan melalui menara pendingin untuk membuang panasnya. Gb. 4.37 memperlihatkan diagram sistem menara pendingin tersebut.

Untuk menentukan kapasitas menara pendingin, diperlukan data sebagai berikut.

- 1) Temperatur air yang masuk ke menara pendingin ( $^{\circ}\text{C}$ ), yaitu temperatur air yang keluar dari kompresor atau pendingin.
- 2) Temperatur air pada waktu keluar dari menara pendingin ( $^{\circ}\text{C}$ ), yaitu temperatur air yang akan masuk ke kompresor atau pendingin.
- 3) Perbedaan temperatur 1)-2).
- 4) Jumlah aliran air pendingin ( $\text{m}^3/\text{jam}$ ).
- 5) Temperatur bola basah di udara luar ( $^{\circ}\text{C}$ ).
- 6) Beban pendinginan ( $\text{kcal}/\text{jam}$ ) atau ( $\text{kJ}/\text{jam}$ ), yaitu: (Perbedaan temperatur)  $\times$  (Jumlah aliran air)  $\times$  (Panas jenis air).

Perhitungan harus dilakukan atas dasar data tersebut di atas untuk menentukan kapasitas dan jenis menara pendingin yang akan dipakai.

## 5 | PEMASANGAN DAN OPERASI

### 5.1 Penempatan

#### 5.1.1 Pemilihan tempat

Dalam memilih tempat yang sesuai untuk instalasi kompresor yang akan dipasang perlu dipertimbangkan beberapa petunjuk di bawah ini.

(1) Instalasi kompresor harus dipasang sedekat mungkin dengan tempat-tempat yang memerlukan udara tekan.

Jika tempat-tempat ini terpencar letaknya maka kompresor sedapat mungkin dipasang di tengah-tengah. Hal ini dimaksud untuk mengurangi tahanan gesek dan kebocoran pada pipa penyalur di samping untuk menghemat ongkos-ongkos.

(2) Di daerah sekitar kompresor tidak boleh ada gas yang mudah terbakar atau zat yang mudah meledak.

Pengamanan harus dilakukan sebab gas-gas berbahaya yang terisap oleh kompresor dapat menimbulkan reaksi kimia bahkan ledakan dan kebakaran. Selain itu bahan-bahan yang mudah terbakar harus dijauhkan dari kompresor.

(3) Pemeliharaan dan pemeriksaan harus dapat dilakukan dengan mudah.

Meskipun kompresor merupakan salah satu dari sumber tenaga yang besar tetapi sering ditempatkan di sudut ruangan atau tempat yang serupa yang menyulitkan pemeriksaan. Karena itu pelumasan harian atau pengurasan air sering terlupakan atau terlewat sehingga kompresor cepat rusak. Berhubung dengan hal tersebut harus disediakan ruangan yang cukup untuk memudahkan pengawasan pemeliharaan dan perbaikan.

(4) Ruangan kompresor harus terang, cukup luas, dan berventilasi baik.

Bila sebuah kompresor besar akan dipasang di sebuah ruang kompresor, maka kondisi lingkungan yang menyangkut cahaya, luar, dan ventilasi harus memenuhi persyaratan yang baik. Dengan cahaya yang cukup, apabila terjadi kelainan seperti bocoran dan lain-lain akan dapat segera diketahui. Luas ruangan yang cukup akan memudahkan pemeriksaan, pemeliharaan, dan mempertinggi keamanan kerja. Ventilasi yang baik sangat penting untuk menghindari akibat buruk dari kebocoran gas apabila kompresor bekerja dengan jenis gas khusus. Untuk kompresor udarapun ventilasi sangat penting untuk mencegah kenaikan temperatur yang terlalu tinggi di dalam ruangan.

(5) Temperatur ruangan harus lebih rendah dari 40°C.

Kompresor mengeluarkan panas pada waktu bekerja. Jika temperatur ruangan naik maka udara yang diisap ke dalam kompresor juga naik. Hal ini mengakibatkan kompresor bekerja pada temperatur di atas normal yang akan dapat memperpendek umur kompresor. Sebaliknya jika temperatur ruangan sangat rendah sampai di bawah 0°C,

seperti keadaan pada musim dingin (di tempat yang beriklim dingin), maka sebelum dijalankan kompresor perlu dipanaskan terlebih dahulu. Hal ini perlu supaya kompresor tidak mengalami kerusakan pada waktu start atau jalan karena pembekuan air pendingin atau air kurasan.

(6) Kompresor harus ditempatkan di dalam gedung

Badan kompresor atau motor dapat cepat rusak, atau kecelakaan yang disebabkan oleh listrik dapat terjadi jika kompresor dibiarkan kehujaan.

### 5.1.2 Kondisi pengisapan

Pengisapan udara dari atmosfer perlu dijaga dengan baik sesuai petunjuk-petunjuk berikut ini:

(1) Temperatur udara yang diisap harus dijaga serendah mungkin dan tidak lebih dari 40°C

Jika temperatur udara yang diisap tinggi, maka temperatur udara tekan yang dihasilkan akan menjadi tinggi pula. Demikian juga bagian-bagian dari kompresor akan naik temperatur. Hal ini akan memperpendek umur kompresor. Pada kompresor yang berukuran besar, udara yang diisap dari dalam ruangan kompresor dapat mempunyai temperatur yang cukup tinggi. Untuk mengatasi hal ini, udara dapat diisap dari luar ruangan melalui sebuah saringan udara.

(2) Kandungannya debu di sekitar tempat pengisapan harus dapat dijaga sekecil mungkin

Saringan udara yang dipergunakan untuk mencegah debu masuk kompresor dapat tersumbat jika udara yang diisap mengandung banyak debu. Hal ini akan menurunkan jumlah udara yang dapat terisap dan performansi kompresor menjadi buruk. Lebih-lebih jika udara yang diisap tersebut mengandung partikel-partikel dari bahan yang keras seperti keramik dan pasir, maka silinder, torak, katup dan bantalan dapat menderita kerusakan berat bahkan dapat menyebabkan kecelakaan.

(3) Udara harus sekering mungkin

Jika udara yang diisap terlalu lembab maka jumlah air yang mengembun akan sangat banyak. Hal ini akan menyebabkan korosi. Untuk mencegah hal ini kompresor harus dipasang di tempat yang tidak terlalu lembab dan lingkungan di sekitar kompresor harus dijaga tetap kering.

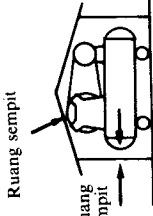

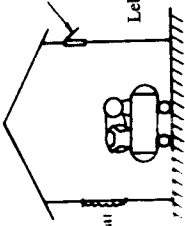
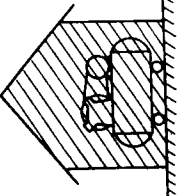
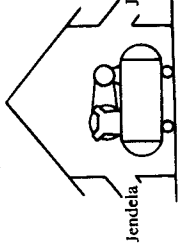
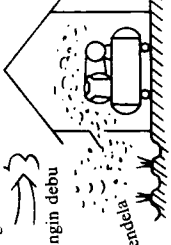
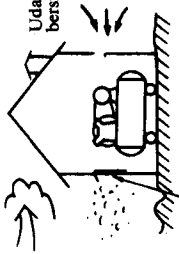
Pedoman tentang langkah-langkah yang penting dan perlu diambil sehubungan penempatan instalasi kompresor diuraikan secara ringkas dalam Tabel 5.1.

## 5.2 Instalasi Dan Pemipaan

### 5.2.1 Pondasi

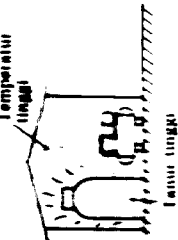
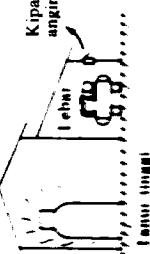
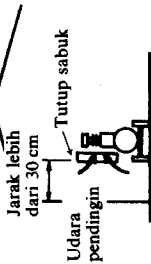


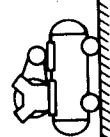
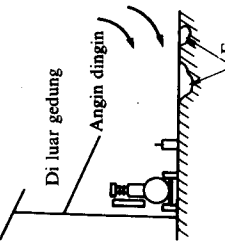
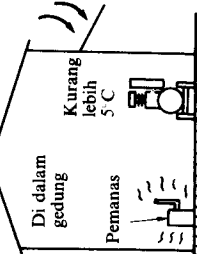
Agar kompresor dapat bekerja untuk jangka waktu lama dalam kondisi baik, mesin ini harus dipasang pada pondasi yang padat dan mantap. Mula-mula kondisi dan sifat tanah di tempat yang direncanakan untuk pondasi harus diperiksa secara cermat. Bila diperlukan dapat digunakan tiang pancang untuk memperkuat pondasi. Pondasi kompresor harus dibuat terpisah dari pondasi gedung. Hal ini dimaksud agar getaran dari kompresor tidak diteruskan ke struktur gedung dan fasilitas lainnya. Juga tinggi

Tabel 5.1 Pedoman pemilihan tempat untuk instalasi serta pencegahan gangguan.

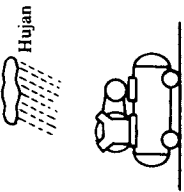
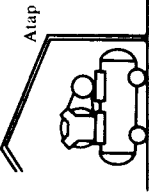
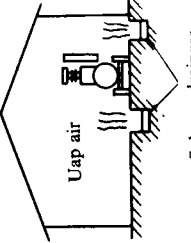
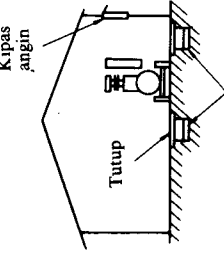
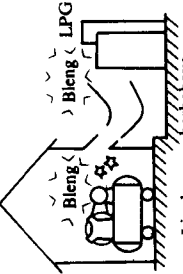
No	Pedoman	Contoh yang salah	Gejala gangguan	Contoh yang benar
1	Sediakan ruangan yang cukup di sekitar kompresor untuk pemeliharaan dan pemeriksaan.	 <p>Ruang sempit</p>	<p>Pemeliharaan dan pemeliharaan harian sangat sukar dilakukan.</p>  <ul style="list-style-type: none"> <li>o Temperatur meningkat di ruang kompresor.</li> <li>o Minyak tiba-tiba naik, gemuk di dalam bantalan meleh ke luar (pada kompresor jenis bebas minyak); prestasi memburuk; motor terbakar; ketahanan menurun.</li> </ul>	 <p>Lebar</p> <p>Kipas angin</p> <p>Usahkan ventilasi penuh pada ruangan</p>
2	Tempatkan di daerah yang terang.	<p>Penempatan di daerah yang gelap.</p> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>o Pemeliharaan sukar dilakukan.</li> <li>o Pemeriksaan sehari-hari sukar.</li> <li>o Bagian yang rusak tidak dapat segera diketahui.</li> </ul>	<p>Pasanglah di tempat yang terang.</p>  <p>Jendela</p> <p>Jendela</p>
3	Jangan memasang di daerah yang berdebu (Pengamanan khusus perlu untuk kompresor jenis bebas minyak).	<p>Udara bersih tak dapat disap.</p> <p>Angin keras</p> <p>Angin debu</p>  <p>Jendela</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>o Banyak debu halus dari tanah, semen, bubuk besi, dll. di sekeliling kompresor.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>o Seringan udara akan cepat tersumbat sehingga prestasi kompresor memburuk.</li> <li>o Keausan yang berlebihan pada silinder.</li> <li>o Katup pecah.</li> <li>o Kerusakan pada bantalan.</li> <li>o Partikel-partikel asing tercampur dalam udara tekan.</li> </ul>	<p>Tambahkan pipa isap untuk dapat mengisap udara bersih dari luar ruangan.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>o Jangan biarkan debu terisap.</li> </ul> <p>Angin keras</p> <p>Udara bersih</p>  <p>Jendela ditutup</p>

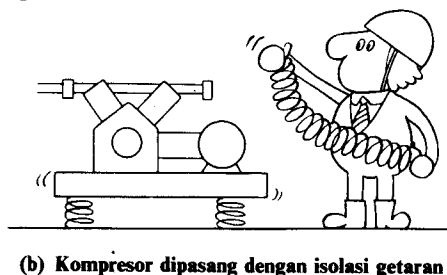
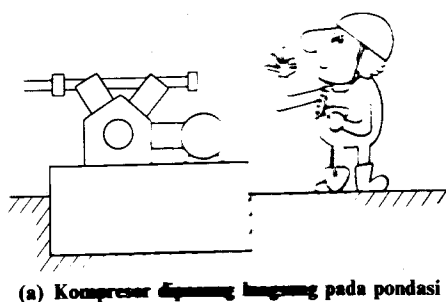


Tabel 5.1

No.	Pedoman	Contoh yang salah	Gejala gangguan	Contoh yang benar
4	<ul style="list-style-type: none"> <li>Jangan menempatkan kompresor di tempat-tempat yang bersuhu tinggi dan kurang ventilasi.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Temperatur lingkungan melebihi 40 °C</li> </ul> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>Minyak tiba tiba naik (termuk di dalam bantalan melebihi dan keluar (pada kompresor jenis belian minyak))</li> <li>Prestasi menurun</li> <li>Motor terbakar</li> <li>Ketahanan menurun</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Hindari lingkungan yang bertemperatur tinggi.</li> <li>Herikan ventilasi penuh.</li> </ul>  <ul style="list-style-type: none"> <li>Kompresor harus diletakkan pada jarak lebih dari 30 cm dari dinding</li> </ul>  <ul style="list-style-type: none"> <li>Udara pendingin</li> <li>Harus diberi atap.</li> </ul> 
5	<ul style="list-style-type: none"> <li>Jangan menempatkan kompresor pada lingkungan yang bertemperatur rendah.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Sinar matahari langsung</li> </ul>   <ul style="list-style-type: none"> <li>Temperatur di bawah 0 °C.</li> </ul> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>Dapat terjadi pemanasan yang berlebihan.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Harus dipanaskan lebih dahulu sebelum dijalankan.</li> </ul>  <ul style="list-style-type: none"> <li>Kompresor tak dapat distart.</li> <li>Pelumasam gemuk akan sangat dipengaruhi.</li> <li>Katup pengatur tekanan, katup keamanan, katup penutup, katup penguras, dll. tak dapat bekerja secara semestinya karena pembekuan air dari udara yang dimampatkan.</li> <li>Tangkai dapat menjadi retak karena pembekuan air di dalamnya.</li> </ul>

Tabel 5.1

No.	Pedoman	Contoh yang salah	Gejala gangguan	Contoh yang benar
6	<ul style="list-style-type: none"> <li>Jangan menempatkan kompresor di tempat yang lembab atau yang tidak beratap.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Kompresor kehujanan.</li> </ul> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>Kerusakan pada waktu operasi atau kecelakaan karena listrik dapat terjadi.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Tempatkan kompresor di dalam gedung. Jika terpaksa dipasang di luar, berikan atap.</li> </ul> 
7	<ul style="list-style-type: none"> <li>Jangan menempatkan kompresor di mana terdapat gas-gas yang mudah meledak (seperti asetilen, gas-gas yang korosif (seperti chlorine, sulfur anhidrida, dll.), atau bahan-bahan dan benda yang berbahaya.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Kelambaban relatif yang tinggi (lebih dari 80%). Ada saluran terbuka yang berair di dekat kompresor.</li> </ul> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>Pengembunan uap air akan meningkat dan mengakibatkan korosi lebih cepat pada bagian-bagian kompresor.</li> <li>Cincin torak dapat aus lebih cepat.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Tutuplah saluran terbuka yang berair dengan penutup agar uap air tidak terisap kompresor.</li> </ul> 
	<ul style="list-style-type: none"> <li>Jangan menempatkan kompresor di mana terdapat gas-gas yang mudah meledak (seperti asetilen, gas-gas yang korosif (seperti chlorine, sulfur anhidrida, dll.), atau bahan-bahan dan benda yang berbahaya.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Ada bahan berbahaya di sekitar kompresor.</li> </ul>  <ul style="list-style-type: none"> <li>Lingkungan gas korosif seperti di tepi pantai (karena garam, ozon).</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Ledakan dapat terjadi jika temperatur ruang kompresor naik.</li> <li>Gas yang mudah terbakar dapat dinyalakan oleh bunga api dari bagian-bagian listrik yang ada.</li> <li>Bahan-bahan yang berbahaya dapat bocor keluar karena getaran dari kompresor.</li> <li>Kerusakan yang berlebihan pada bagian-bagian kompresor.</li> <li>Korosi pada tangki udara dan pipa-pipa.</li> <li>Minyak pelumas yang cepat membusuk.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Periksalah lingkungan kompresor. Tempatkan pada tempat yang aman.</li> <li>Berikan ventilasi penuh.</li> <li>Amil tindakan pencegahan ledakan jika kompresor harus dipasang di tempat yang mudah meledak (Misalnya dengan menggunakan motor, tombol magnetik, tombol tekanan, dan kabel jenis anti ledak).</li> </ul>



Gb. 5.1 Pondasi untuk kompresor udara.

pondasi dan permukaan lantai harus ditentukan dengan memperhitungkan drainase, buangan minyak, dan pemeliharaan.

Pondasi harus kuat menahan beban dari kompresor sehingga kompresor dapat berada tetap di tempatnya dan tidak bergeser atau melesak.

Masalah yang paling serius pada pondasi dalam praktek adalah perambatan getaran ke struktur lain di sekitarnya serta rusaknya pemipaan karena kelelahan yang diakibatkan oleh getaran kompresor. Karena itu dalam perencanaan pondasi terdapat dua macam pendekatan. Pertama, pondasi dibuat di dalam tanah agar dapat menyatu dengan tanah sehingga getaran kompresor dapat ditekan sampai sekecil-kecilnya. Kedua, kompresor dipasang pada pondasi secara agak bebas dengan pengikat dan penumpu yang elastis. Dengan demikian kompresor dapat bergetar sampai batas tertentu tetapi getaran tersebut tidak diteruskan ke tanah dan bangunan.

Pendekatan yang pertama disebut metoda pemasangan langsung dan dipergunakan di pabrik atau bangunan sipil bila getaran yang dirambatkan tidak akan menimbulkan masalah. Pendekatan yang kedua disebut metoda isolasi getaran dan dipergunakan bila kondisi tanah sangat buruk atau bila kompresor dipasang pada lantai dasar atau lantai atas gedung bertingkat.

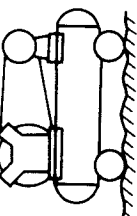
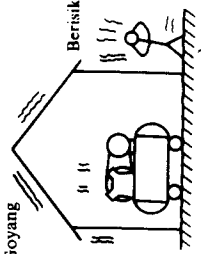

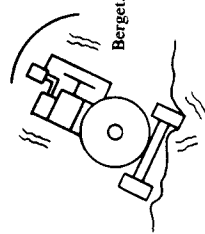
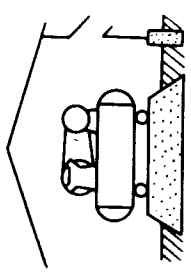
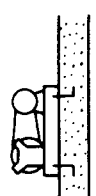
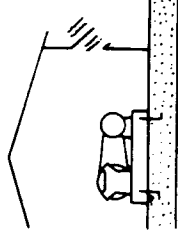
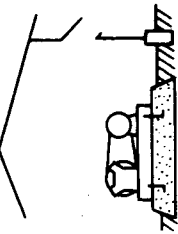
## 5.2.2 Pemasangan

Sebelum kompresor dipasang, pondasi beton harus dipastikan sudah mengeras sepenuhnya. Setelah itu dan ukuran lubang baut diperiksa apakah sesuai dengan gambar kerja.

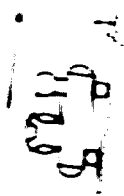
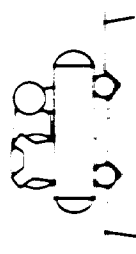
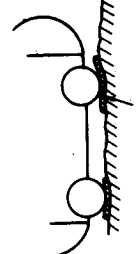

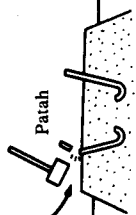
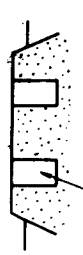

Baut pengikat pondasi dapat ditanam pada posisi yang tepat jika penempatannya dilakukan pada waktu pemasangan kompresor. Namun jika baut-baut ini harus ditanam mendahului pemasangan kompresor, penempatan baut harus dilakukan sesuai gambar kerja pondasi dengan menggunakan plat pola bila perlu. Setiap baut harus muncul dengan panjang tertentu di atas permukaan pondasi. Dalam hal ini sepertiga bagian atas baut dibiarkan tidak dicor dengan beton untuk memungkinkan sedikit penyesuaian pada waktu pemasangan kompresor.

Kompresor dan motor yang akan dihubungkan dengan sabuk-V harus diatur sejajar dan rata, dengan tegangan sabuk yang tepat. Kompresor dan motor yang akan dihubungkan dengan kopling secara langsung memerlukan pelurusan. Dalam kedua hal tersebut di atas, gambar pemasangan dan petunjuk yang disertakan pada setiap peralatan harus diikuti pada waktu pemasangan dilaksanakan. Pedoman umum untuk pekerjaan ini diberikan dalam Tabel 5.2.

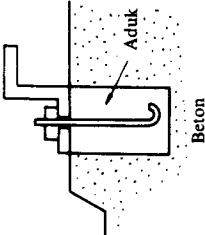
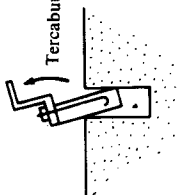
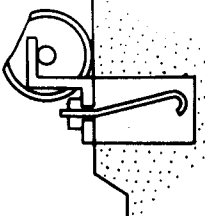
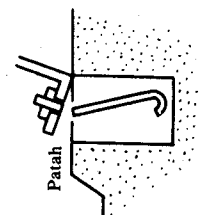
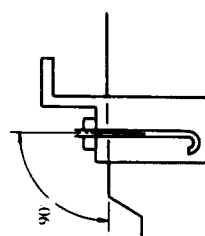
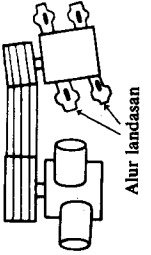
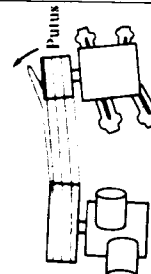
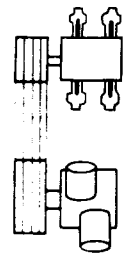
Tabel 5.2 Pedoman untuk pembuatan pondasi dan pemasangan instalasi.

No.	Pedoman	Contoh yang salah	Gejala gangguan	Contoh yang benar
1	<ul style="list-style-type: none"> <li>Jangan memasang di atas tanah yang buruk.</li> </ul>	<p>Kompresor dipasang di atas tanah buruk tanpa pemeriksaan tanah lebih dahulu.</p>  <p>Landasan tanah buruk</p>	<p><b>Goyang</b></p>  <p><b>Berisik</b></p>  <p><b>Goyang</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Polusi suara.</li> <li>Keluhan dari para penghuni di sekitarnya.</li> <li>Efisiensi kerja rendah.</li> <li>Getaran pada bangunan dan struktur di sekitarnya.</li> </ul> <p><b>Bergetar</b></p>  <p>Landasan tanah buruk</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Keringkan tanah sebaik mungkin.</li> <li>Buatkan pondasi yang kokoh.</li> <li>Usahakan pondasi sedatar mungkin.</li> </ul> 
	Goyang	<ul style="list-style-type: none"> <li>Lantai beton yang dicor di atas tanah dan dipakai memasang kompresor.</li> </ul>  <p>Lantai beton dicor di atas tanah</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Getaran merambat ke jendela bangunan.</li> </ul> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>Pisahkan pondasi kompresor dari yang lain.</li> </ul> 

Tabel 5.2

No.	Pedoman	Contoh yang salah	Gejala gangguan	Contoh yang benar
2	Pasanglah pada kedudukan mendarat.	Kompressor dipasang pada lereng 	Kompressor berpindah pada waktu jalan Permukaan minyak di dalam tangki minyak tidak mengisi tangki minyak Beban pada bagian tak berdimensi hingga dapat rusak	Buatlah alur atau lekukan pada permukaan atas pondasi dan pasanglah kompressor secara mendarat.  Kencap roda setiap cak tanah secara merata  Gajjal dari bahan lunak (karet, lakan, dll.)
3	Bila memakai baut jangkar maka : Sesuaikan jarak baut-baut dengan jarak lubang-lubang pada landasan kompressor.	Baut-baut jangkar ditanam sebelum kompressor dipasang. 	Jarak baut-baut tidak sama dengan jarak lubang pada landasan kompressor. Perbaikan pada letak baut secara paksa akan menyebabkan patah pada waktu operasi. 	1) Baut ditanam pada waktu kompressor dipasang.  2) Diisi dengan aduk setelah kompressor dipasang. Baut ditanam dengan jarak yang tepat sama dengan lubang landasan kompressor (dengan menggunakan mal) Mal lubang  Ditanam hanya 2/3 bagian dari bagian bawah dan bagian atasnya dibiarkan bebas.

Tabel 5.2

No.	Pedoman	Contoh yang salah	Gejala gangguan	Contoh yang benar
(2)	Aduk harus lekat sepenuhnya pada beton.	 <p>Aduk kurang lekat</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Baut tidak dapat diken- cungkan.</li> <li>Kompresor bergetar secara berlebihan.</li> </ul> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>Jalankan kompresor hanya setelah aduk mengeras.</li> </ul>
(3)	Baut harus tegak lurus pada permukaan pondasi.		<ul style="list-style-type: none"> <li>Baut dapat patah pada waktu operasi.</li> </ul> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>Baut harus tegak lurus permukaan pondasi pada sumbu lubang landasan.</li> </ul> 
4	<ul style="list-style-type: none"> <li>Puli kompresor harus sejajar dengan puli motor.</li> <li>Alur landasan motor harus sejajar dengan sabuk-V.</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>Terjadi suara yang tidak semestinya.</li> <li>Sabuk putus.</li> <li>Penyimpangan dari kesejajaran akan semakin besar jika motor digeser untuk menegangkan sabuk.</li> </ul> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>Pasanglah sedemikian rupa hingga puli motor dan puli kompresor sejajar.</li> <li>Pasanglah alur landasan motor sejajar dengan sabuk-V.</li> </ul> 

### 5.2.3 Pemipaan

Kompresor berukuran kecil dan sedang yang portabel atau dalam kemasan, umumnya dilengkapi dengan pemipaan dalam sehingga pemasangan pipa-pipa mudah dilaksanakan. Namun kompresor berukuran besar memerlukan pemipaan yang rumit dan harus dikerjakan secara cermat. Pemasangan yang tidak benar dapat menimbulkan retakan atau kerosakan lainnya. Adapun pipa yang diperlukan dalam instalasi kompresor terdiri dari pipa keluar, pipa pembebas beban, dan pipa pendinginan. Masing-masing pipa ini akan diuraikan cara penanganannya seperti berikut.

#### (1) Pipa keluar

Pada waktu merencanakan dan memasang pipa, perlu diperhatikan hal-hal seperti di bawah ini.

- 1) Bahan pipa yang berminyak, karatan, berlapis ter arang batu atau cat tidak boleh dipakai.
- 2) Untuk menyambung pipa keluar harus dipergunakan sambungan flens las.
- 3) Jika pipa mulai dari kompresor sampai tangki udara atau pendingin akhir, beresamannya dengan pulsasi udara keluar, maka akan timbul berbagai akibat yang negatif. Akibat-akibat tersebut adalah timbulnya bunyi yang keras dan getaran pada pemipaan yang akan memperpendek umur kompresor serta menurunkan performansi dan efisiensinya. Frekuensi pribadi dari kolom udara di dalam pipa keluar dapat ditaksir dengan rumus berikut ini.

$$f = \frac{2v}{L_p + L_v} \cdot a$$

di mana  $f$  = Frekuensi pribadi kolom udara (1/s).

$L_p = L_p + L_v$ : Panjang ekuivalen pipa (m).

$L_v = V/A$  = Volume ruang keluar kompresor/Luas penampang:

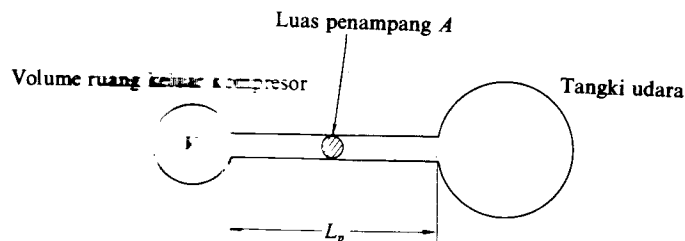
Panjang pipa yang dikonversikan (m)

$v = 340$

$a$  = Kecepatan suara dalam udara/gas (m/s)

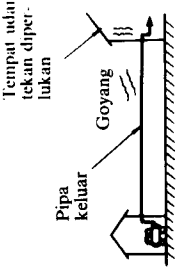
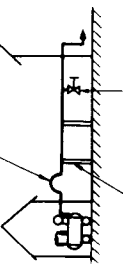
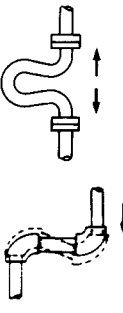

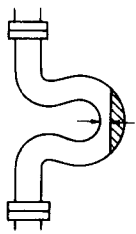
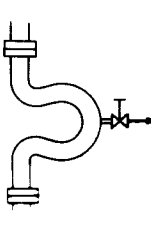
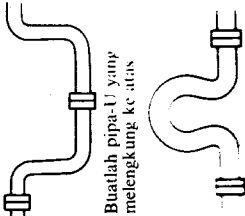
Frekuensi pribadi  $f$  ini tidak boleh sama dengan frekuensi denyutan tekanan yang ditimbulkan oleh rotor kompresor maupun dengan frekuensi pribadi dari struktur pipa keluar, agar tidak terjadi resonansi.

- 4) Temperatur udara keluar pada umumnya berkisar antara 140 sampai 180°C. Karena itu pipa keluar harus dapat menampung pemuaian yang terjadi. Jika pipa sangat panjang, akan diperlukan dua belokan atau sebuah belokan luwes untuk membuat pipa lebih elastis.
- 5) Sebuah pendingin akan harus dipasang sedekat mungkin pada kompresor untuk




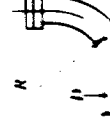
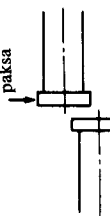
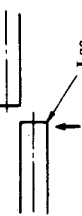
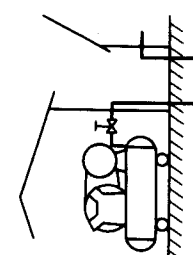
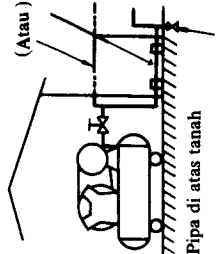
Gb. 5.2 Pipa keluar kompresor.

Tabel 5.3 Pedoman untuk memasang pipa keluar.

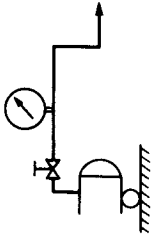

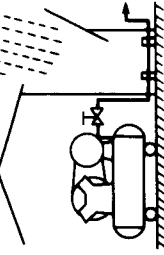
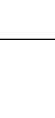
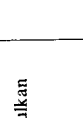
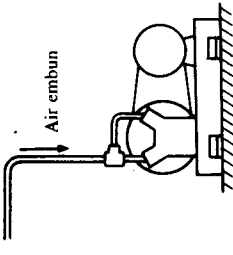
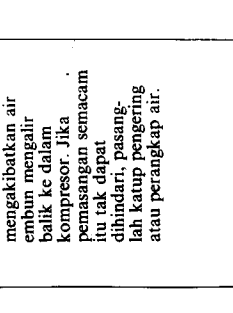
No.	Pedoman	Contoh yang salah	Gejala gangguan	Contoh yang benar
1	<ul style="list-style-type: none"> <li>Kompresor harus dipasang sedikit di mungkin dengan daerah yang membutuhkan udara tekan. Pipa keluar harus diusahakan sependek mungkin. Jika pipa keluar yang panjang tidak dapat dihindari, buatlah penyangga yang memungkinkan ekspansi termal.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Tempat yang membutuhkan udara tekan terlalu jauh dari kompresor</li> </ul> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>Pipa bergetar hebat.</li> <li>Gedung akan menderita akibatnya. Timbul suara berisik.</li> <li>Tahanan pada aliran dalam pipa meningkat, dan tekanan akan menurun.</li> <li>Terjadi pengembunan uap air pada pipa keluar.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Pasanglah penopang pipa, katup pembuang air, dan pipa lengkung penyerap pemuaian.</li> <li>Tempat udara tekan diperlukan</li> </ul>  <ul style="list-style-type: none"> <li>Penyerap tekanan pemuaian</li> <li>Jika pipa keluar cukup panjang, pasanglah lengkung pipa penyerap pemuaian.</li> </ul> 
2	<ul style="list-style-type: none"> <li>Air yang diembunkan akan tinggal di dalam pipa-U. Pasanglah katup pembuang air atau pasanglah pipa-U melengkung ke atas.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Pipa-U melengkung ke bawah.</li> </ul> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>Air yang diembunkan akan tinggal di pipa-U.</li> <li>Terjadi korosi pada pipa keluar.</li> <li>Tahanan terhadap aliran udara meningkat dan tekanan menurun banyak.</li> </ul> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>Pasanglah katup pengering.</li> <li>Buatlah susunan yang mudah dibersihkan dan dibongkar.</li> <li>Buatlah pipa-U yang melengkung ke atas</li> </ul>  



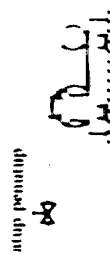
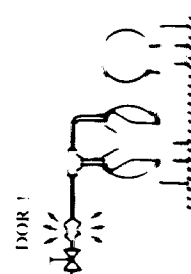
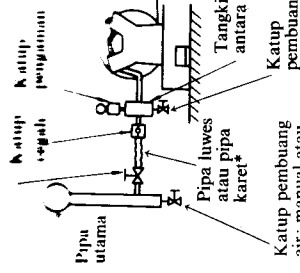
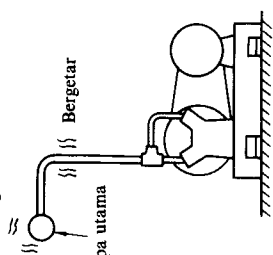
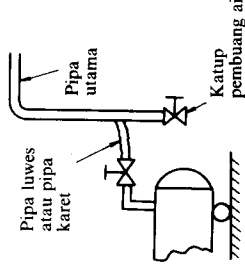
Tabel 5.3

No.	Pedoman	Contoh yang salah	Gejala gangguan	Contoh yang benar
3	<ul style="list-style-type: none"> <li>Bila membengkokkan pipa keluar, jari-jari lengkungnya harus lebih besar dari 3 kali diameter pipa untuk menghindari tegangan yang berlebihan</li> </ul>	<p>Pipa dibengkokkan dengan paksa</p> 		<p>Contoh yang benar</p> <p>Jari-jari <math>R</math> harus lebih besar dari 3 kali diameter pipa (<math>D</math>)</p> 
4	<ul style="list-style-type: none"> <li>Jangan sambungkan pipa dengan paksa</li> </ul>	<p>Pipa yang disambung dengan paksa. Dipaskan dengan paksa</p>  <p>Las</p> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>Kebocoran.</li> <li>Mudah terjadi getaran.</li> <li>Pecah pada bagian yang mendapat tegangan tinggi.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Penyambungan las di lapangan tanpa paksa.</li> </ul>
5	<ul style="list-style-type: none"> <li>Jangan tanamkan pipa di bawah tanah</li> </ul>	 <p>Pipa di bawah tanah</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Air yang mengembun tak dapat dibuang.</li> <li>Pipa cepat berkarat.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Pipa tidak ditanam di bawah tanah.</li> </ul>  <p>(Atau)</p> <p>Katup pengering</p> <p>Pipa di atas tanah</p>

Tabel 5.3

No.	Pedoman	Contoh yang salah	Gejala gangguan	Contoh yang benar
6	<ul style="list-style-type: none"> <li>Jangan pasang instrumen langsung pada pipa.</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>Kesalahan pembacaan karena getaran dan pulsasi</li> <li>Kesalahan pembacaan karena temperatur tinggi.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Pakai tabung peredam atau pipa penghubung.</li> </ul> 
7	<ul style="list-style-type: none"> <li>Bila lingkungan mudah menimbulkan korosi, pakailah pipa gas putih atau pakailah cat pencegah karat.</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>Kabocoran pipa.</li> </ul> 	 <p>Pipa gas putih atau cat pencegah karat.</p>
8	<ul style="list-style-type: none"> <li>Jangan memasang pipa pada kompresor secara lurus ke atas karena akan mengakibatkan air embun mengalir balik ke dalam kompresor. Jika pemasangan semacam itu tak dapat dihindari, pasanglah katup pengering atau perangkap air.</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>Aliran balik dari air embun.</li> <li>Katup kompresor berkarat.</li> <li>Torak cepat aus.</li> </ul>	 <p>Pasanglah sambungan (seperti misal nya belokan, sambungan-T, nipel) pada lubang keluar kepala silinder dan sambungkan ke pipa keluar utama. Pasanglah tangki menengah di tengah pipa (jika pipa cukup panjang) untuk mencegah pulsasi dan untuk menangkap air pengembunan</p>

Tabel 5.3

No.	Pedoman	Contoh yang salah	Gejala gangguan	Contoh yang benar
9	<p>o Jika katup penutup dipasang di tengah pipa, sebuah katup pengaman yang berkapasitas cukup harus dipasang di antara katup penutup dan kompresor. (Katup pengaman dihubungkan dengan tangki udara dengan model standar)</p>	<p>o Tidak ada katup pengaman yang dipasang di antara katup penutup dan kompresor.</p> <p>Kompresor tidak dilengkapi dengan tangki udara</p>  <p>Katup penutup</p>	<p>o Pembebanan lebih</p> <p>o Letusan pada pipa keluar</p>  <p>DOOR !</p>	<p>Katup penutup. (Katup ini dalam keadaan normal harus selalu terbuka, dan pemutarnya tidak dipasang. Atau dipakai katup penutup yang dapat menunjukkan keadaan terbuka atau tertutup.)</p>  <p>* Pipa karet yang tahan tekanan dan temperatur tinggi.</p>
10	<p>o Sambungkan dengan pipa luwes atau pipa karet untuk mengurangi getaran dari kompresor ke pipa utama.</p>	<p>Pipa gas dipakai untuk menghubungkan kompresor dengan pipa utama.</p> <p>Bergetar</p> 	<p>o Bunyi tidak normal</p> <p>o Retak pada pipa</p>	<p>Katup pembuang air melalui pipa luwes atau pipa karet.</p> 

mengurangi pemuatan termal pada pipa dan memperkecil kandungan air di dalam udara tekan.

- 6) Pipa harus ditumpu dengan baik untuk mencegah getaran.
- 7) Pada pipa keluar tidak boleh dipasang katup penutup. Jika penggunaan katup penutup tak dapat dihindari maka antara kompresor dan katup ini harus diberi katup pengaman dengan kapasitas yang cukup.

Langkah-langkah pengamanan tersebut di atas diuraikan lebih lanjut secara ringkas dalam Tabel 5.3.

(2) Pipa pembebas beban

Hal-hal yang perlu diperhatikan dalam perencanaan dan pemasangan pipa ini adalah sebagai berikut.

- 1) Pipa pembebas beban dipasang antara katup pengatur tekanan dan tangki udara. Jika pipa ini dihubungkan langsung dengan pipa keluar sebelum tangki udara, maka katup pengatur tekanan tidak akan dapat bekerja dengan baik karena tekanan yang berdenyut. Juga air yang mengembun dapat masuk ke dalam pipa pembebas beban dan katup pengatur tekanan sehingga kerjanya terganggu dan umurnya menjadi pendek. Jika udara lembab masih juga dapat terjadi, maka pipa pembebas beban perlu dilengkapi dengan tangki penguras sebelum udara masuk ke katup pengatur tekanan.
- 2) Bagian dalam pipa pembebas beban harus dibersihkan secara sempurna. Pipa yang dilapisi dengan bahan pelindung yang terbuat dari ter, cat, dsb., tidak boleh dipakai.
- 3) Sebelum katup pengatur tekanan dipasang harus dilakukan peniupan selama beberapa jam untuk menghilangkan karat, geram, dan kotoran lain dari pipa keluar, tangki udara, dan pipa pembebas beban agar tidak mengganggu katup pengatur tekanan.
- 4) Ukuran pipa pembebas beban harus sesuai dengan yang ditentukan oleh pabrikan. Jika panjang pipa lebih dari 10 m atau sistem tidak dapat bekerja baik maka harus diambil ukuran berikutnya yang lebih besar.
- 5) Pada pipa pembebas beban tidak boleh dipasang katup penutup. Jika dipakai juga, katup ini harus dalam keadaan terbuka pada waktu operasi.

Petunjuk-petunjuk umum untuk pipa pembebas beban diberikan dalam Tabel 5.4.

(3) Pipa air pendingin dan lainnya

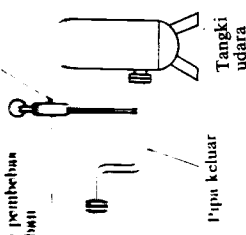
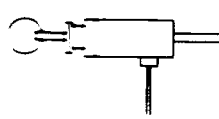
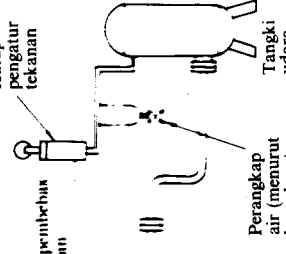
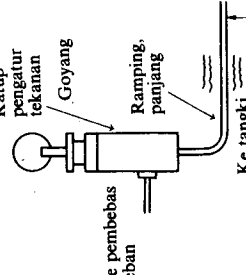
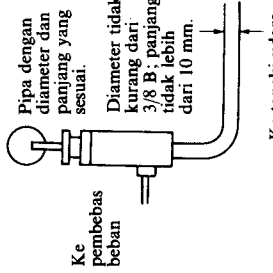
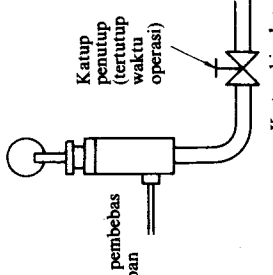
Pedoman umum untuk perencanaan dan pemasangan pipa air pendingin dan pipa lainnya diberikan secara ringkas dalam Tabel 5.5.

#### 5.2.4 Kabel listrik

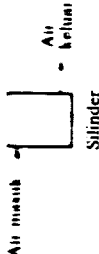
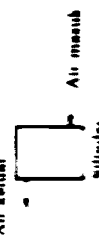
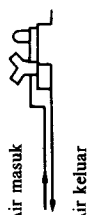
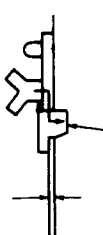
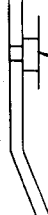
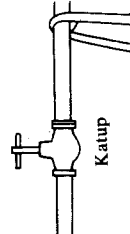
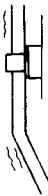
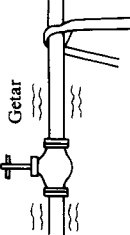
Pemasangan kabel-kabel listrik harus menggunakan bahan kabel yang memenuhi standar yang berlaku. Beberapa petunjuk umum dapat diuraikan sebagai berikut.

- (1) Ukuran dan kapasitas kabel, sekering, dan tombol-tombol harus ditentukan dengan sangat hati-hati. Hanya bahan yang disebut dalam petunjuk pelaksanaan boleh dipakai.
- (2) Jika kabel terlalu panjang atau ukurannya terlalu kecil, dapat terjadi penurunan tegangan yang terlalu besar. Hal ini dapat menimbulkan kesulitan atau kerusakan pada waktu start di mana motor dapat terbakar. Tegangan listrik pada terminal motor tidak boleh kurang dari 90% harga normalnya.

Tabel 5.4 Pedoman pemasangan pipa pembebas beban.

No.	Pedoman	Contoh yang salah	Gejala gangguan	Contoh yang benar
1	<ul style="list-style-type: none"> <li>Hubungkan pipa pembebas beban dengan tangki udara. Pipa ini harus dihubungkan dengan bagian atas tangki untuk mencegah masuknya embun air ke dalam katup pengatur tekanan.</li> </ul>			<ul style="list-style-type: none"> <li>Hubungkan pipa pada bagian atas tangki udara.</li> <li>Jangan biarkan air embun masuk ke dalam katup pengatur tekanan.</li> </ul> 
2	<ul style="list-style-type: none"> <li>Diameter dan panjang pipa pembebas beban harus sesuai untuk memegang teguh katup pengatur tekanan.</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>Katup pengatur tekanan tidak bekerja dengan stabil</li> </ul>	
3	<ul style="list-style-type: none"> <li>Jangan memasang katup penutup pada pipa pembebas beban. Jika memang perlu dipasang, katup penutup harus dijaga tetap terbuka selama operasi (harus diberi penunjuk).</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>Membuka katup penutup dapat terlupakan pada waktu kompresor bekerja.</li> </ul>	

Tabel 5.5 Pedoman untuk pemasangan pipa air pendingin dan lain-lain.

No.	Pedoman	Contoh yang salah	Gejala gangguan	Contoh yang benar
1	Air pendingin harus masuk dari pipa bawah dan keluar dari pipa atas	 <p>Silinder</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Bagian atas tidak dapat sepenuhnya ditunggangkan</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Air pendingin harus dimasukkan dari bawah dan dikeluarkan dari atas.</li> </ul>  <p>Silinder</p>
2	Tentukan diameter dan panjang pipa secara tepat.	 <p>Air masuk Air keluar</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Tahanan dalam pipa terlalu besar dan laju aliran air berkurang</li> </ul>	 <p>Dibuang ke tadah</p>
3	Tekanan air masuk harus lebih dari 1,5 kg/cm <sup>2</sup>	Tekanan air tidak sesuai	<ul style="list-style-type: none"> <li>Jika tekanan terlalu rendah, aliran kurang lancar.</li> <li>Jika tekanan terlalu tinggi, air akan bocor melalui packing pada sambungan dan lain-lain.</li> </ul>	
4	Pasanglah peralatan yang sesuai pada pipa air pendingin.	Pemakaian relay henti yang tidak tepat.	<ul style="list-style-type: none"> <li>Terjadi kesalahan operasi (tidak terjadi trip pada waktu air berhenti mengalir), dan silinder dapat terbakar.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Harus dipakai relay henti yang tepat.</li> </ul>
		Kapasitas menara pendingin tidak sesuai.	<ul style="list-style-type: none"> <li>Temperatur air pendingin naik, karena air tidak cukup didinginkan.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Kapasitas menara pendingin harus sesuai.</li> </ul>
5	Penyangga pipa dan penumpu jangkar harus sesuai untuk mencegah getaran.	 <p>Penumpu jangkar</p>  <p>Katup</p> <p>Penyangga</p>	 <p>Getar</p>  <p>Getar</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Pasanglah tumpuan jangkar di dekat tikungan.</li> <li>Tempatkan penyangga di dekat bagian yang berat.</li> </ul>

### 5.3 Pengujian Lapangan

Setelah kompresor selesai dipasang, harus dilakukan uji coba. Sebelum pengujian dilaksanakan, perlu diadakan pemeriksaan lebih dahulu.

#### 5.3.1 Pemeriksaan sebelum uji coba

Hal-hal yang perlu diperiksa, seperti diuraikan dalam Pasal 5.2 adalah sebagai berikut:

- 1) Kondisi instalasi
- 2) Kondisi kabel-kabel listrik
- 3) Kondisi pemipaan

Selain dari pada itu, kompresor harus terlebih dahulu diisi dengan minyak pelumas sebelum dijalankan. Pada kompresor kecil, minyak pelumas biasanya dikeluarkan lebih dahulu sebelum kompresor dikirim dari pabrikan.

#### 5.3.2 Uji coba

Cara melakukan uji coba biasanya diberikan oleh pabrikan di dalam buku petunjuk. Namun umumnya pekerjaan tersebut mencakup hal-hal berikut.

##### (1) Pemeriksaan arah putaran kompresor

Untuk menyalakan kompresor selama beberapa detik untuk meyakinkan bahwa kompresor berputar dalam arah sesuai dengan arah panah yang ada. Kompresor kecil mempunyai fan yang sekaligus berfungsi sebagai kipas angin untuk mendinginkan kompresor. Jika kompresor berputar dalam arah yang salah, pendinginan tidak akan sempurna dan kompresor menjadi panas serta dapat mengalami gangguan.

##### (2) Operasi tanpa beban

Operasi ini dilakukan dalam masa running-in untuk dapat mendeteksi kelainan di dalam sistem mungkin. Operasi tanpa beban harus dilakukan selama jangka waktu yang telah ditentukan, di mana getaran, bunyi, dan temperatur di setiap bantalan diamati.

##### (3) Operasi dengan beban sebagian

Setelah operasi tanpa beban menunjukkan hasil yang memuaskan, tekanan dinaikkan sampai suatu harga yang ditentukan, secara berangsur-angsur, dengan mentrotel katup penutup utama di sisi keluar. Temperatur pada setiap bantalan dan getaran serta bunyi diamati terus. Demikian pula arus listrik yang masuk serta tegangannya, dll., harus dicatat selama operasi beban sebagian ini untuk dapat menemukan kondisi-kondisi yang tidak normal.

##### (4) Pengujian peralatan pelindung

Pada akhir operasi beban sebagian, kerja katup pengaman dan katup pembebas beban harus diuji. Di sini batas-batas tekanan yang ditentukan harus dapat dicapai sesuai dengan buku petunjuk dari pabrikan.

##### (5) Operasi stasioner

Operasi stasioner dilakukan dengan menjaga tekanan keluar yang tetap pada kompresor menurut spesifikasi dari pabrikan. Selama itu temperatur di setiap bagian, getaran,

bunyi tak normal, kebocoran pada pipa-pipa, dan bagian-bagian yang kendor harus diamati dengan cermat.

(6) Penghentian operasi

Urutan langkah-langkah penghentian kompresor adalah sama pentingnya dengan langkah-langkah start dipandang dari segi umur mesin. Adapun urutan penghentian kompresor adalah sbb.

- 1) Turunkan beban kompresor sampai menjadi nol dan tutup katup air pendingin.
- 2) Biarkan kompresor berjalan selama beberapa menit dalam keadaan tsb. pada 1) untuk membersihkan silinder-silinder dari uap air yang mengembun.
- 3) Kemudian matikan motor, buka katup penguras dan katup laluan udara (ven), dan keluarkan air pendingin.
- 4) Bila temperatur air pendingin di sisi keluar telah turun benar-benar, aliran air pendingin melalui pendingin akhir dihentikan dan air dikeluarkan seluruhnya dari pendingin ini.
- 5) Buang air embun dari pemisah di pendingin akhir.
- 6) Udara tekan di dalam pipa keluar harus dibuang. Hal ini perlu untuk mencegah kembalinya air embun di pipa keluar ke dalam silinder.

## 5.4 Operasi Harian

Di bawah ini akan diberikan petunjuk-petunjuk yang perlu ditepati pada waktu operasi normal, sbb.

- 1) Buku catatan operasi (buku log) harus diisi tiap hari. Butir-butir yang perlu dicatat adalah: temperatur di setiap bagian yang penting, tekanan, konsumsi minyak pelumas, kebocoran-kebocoran (udara, minyak, air), fluktuasi tekanan hidrolik, perubahan bunyi dan getaran, dll.
- 2) Katup pengaman harus dioperasikan dengan tangan sekali tiap hari.
- 3) Zat cair di dalam tangki udara dan pemisah di kompresor sekrup harus dikuras dua kali tiap hari.
- 4) Yakinkan bahwa gerakan jarum manometer dapat berlangsung dengan halus dan menunjukkan harga hampir nol jika tekanan di dalam tangki sama dengan nol.
- 5) Yakinkan pada penunjukan manometer bahwa katup pengatur tekanan dan tombol tekanan akan bekerja pada daerah tekanan sesuai dengan penyetelan.

## 5.5 Kompresor Tak Dipakai Untuk Jangka Waktu Lama

Jika kompresor tidak dipakai untuk jangka waktu lama, seolah-olah kompresor ini dalam keadaan beristirahat. Namun dalam keadaan tidak dipakai, kompresor akan berkarat, berdebu, mutu minyaknya menurun, terjadi pengembunan uap air, pembekuan, korosi karena kandungan gas yang korosiv, dsb. Jika nanti akan digunakan lagi, kompresor dapat mengalami gangguan seandainya tidak dipelihara dengan baik pada waktu tidak dipakai. Karena itu apabila kompresor tidak akan dipergunakan selama lebih dari sebulan perlu dilakukan hal-hal berikut.

- 1) Jika keadaan lingkungan banyak berdebu, kompresor harus ditutup dengan lembar plastik pada tempat pernafasan kotak engkol, perapat poros, tutup katup, pompa minyak, instrumentasi, dsb.
- 2) Jika mungkin, instrumen-instrumen dibuka dan disimpan.
- 3) Katup-katup harus tertutup sepenuhnya untuk mencegah pipa-pipa kemasukan debu, atau air hujan.



- 4) Minyak pencegah karat atau gemuk harus dilapiskan pada bagian dalam kompresor.
- 5) Kompresor harus diputar dengan tangan sekali sebulan untuk mencegah pengkaratan dan untuk meratakan minyak pelumas. Jika kompresor masih terhubung dengan sumber tenaga listrik, maka dapat dijalankan selama 10 menit tiap hari tanpa beban. Dalam hal ini tidak diperlukan langkah-langkah pencegahan debu dan karat seperti disebut di atas.
- 6) Jika kompresor masih terhubung dengan sumber listrik dan tidak akan dipergunakan dalam jangka waktu sangat lama, sebaiknya semua tombol dikunci supaya tidak dapat dijalankan secara tak sengaja.

## 6 PEMERIKSAAN DAN PEMELIHARAAN

Seperti telah diuraikan dalam Bab 4, kompresor mempunyai berbagai bagian yang mendapat beban tumbukan dan bagian-bagian yang saling meluncur dengan tekanan permukaan yang besar. Selain itu getaran mekanis serta denyutan tekan merupakan hal yang tak dapat dihindari. Karena itu jika diingini umur yang panjang dan performansi yang tetap baik, kompresor harus dioperasikan dengan benar, serta dilakukan pemeriksaan dan pemeliharaan dengan cermat. Setiap kompresor selalu dilengkapi dengan buku petunjuk yang harus diikuti. Karena itu di sini hanya akan diberikan pedoman-pedoman dasar. Sebagai contoh akan diambil dua kasus yaitu kompresor torak kecil dengan pelumasan minyak, dan kompresor sekrup kecil juga dengan pelumasan minyak. Kedua jenis kompresor ini diproduksi dalam jumlah besar baik pada masa sekarang maupun yang akan datang.

Tabel 6.1 Ikhtisar Pemeriksaan Harian.

No.	Yang Diperiksa	Cara memeriksa
	Permukaan minyak	Jagalah agar permukaan minyak pelumas ada dalam batas-batas yang ditentukan seperti terlihat pada pengukur permukaan. Tambahkan minyak jika permukaan sudah mencapai batas terendah.
2	Pembuang air pengembunan	Bukalah katup pembuang air dari tangki udara. (Air akan mudah dikeluarkan jika tekanan di dalam tangki udara adalah 0,5 – 1,0 kg/cm <sup>2</sup> atau 0,05 – 0,1 MPa)
3	Pengukur tekanan	Periksa apakah jarum manometer dapat bergerak secara halus, dan jarum menunjuk angka nol (atau mendekati nol) bila tekanan di dalam tangki adalah nol.
4	Katup pengatur	Periksalah dengan mengamati manometer, apakah kompresor bekerja pada daerah tekanan sebagaimana ditetapkan pada pengatur tekanan.
5	Tombol tekanan (pressure switch)	Periksalah dengan mengamati manometer, apakah kompresor bekerja pada daerah tekanan sebagaimana ditetapkan pada tombol tekanan.
6	Katup pengaman	Tariklah sedikit jarum katup pengaman pada keadaan tekanan mencapai maksimum (jarum manometer menunjuk pada garis merah). Jika dengan tarikan ringan saja katup sudah dapat terbuka, maka katup dalam keadaan baik.
7	Lain-lain	Periksalah bagian-bagiannya apakah ada bunyi atau getaran yang luar biasa (tidak normal).

## 6.1 Pemeriksaan Harian

Setiap hari sebelum dioperasikan, kompresor harus diperiksa menurut cara seperti diberikan dalam Tabel 6.1.

## 6.2 Pemeriksaan Rutin

Kompresor udara harus diperiksa secara periodik. Prosedur pemeriksaan rutin diberikan dalam Tabel 6.2 untuk kompresor udara berukuran kecil dengan pelumasan minyak, sedangkan Tabel 6.3 untuk kompresor sekrup kecil dengan pelumasan minyak. Jangka waktu pemeriksaan rutin bervariasi tergantung pada masing-masing produk. Jadi tabel tersebut hanya dapat dipergunakan sebagai pedoman umum. Pedoman yang lebih terperinci harus diambil dari buku petunjuk dari pabrikan kompresor yang bersangkutan.

## 6.3 Prosedur Pemeriksaan

Pemeriksaan menyeluruh dan overhaul harus dilakukan oleh teknisi yang mempunyai keahlian khusus dan berpengalaman. Di sini akan diberikan beberapa petunjuk umum yang penting.

### 6.3.1 Tindakan pengamanan

Pada waktu pembongkaran dan perakitan kembali perlu diperhatikan hal-hal berikut.

- 1) Sebelum pembongkaran atau perbaikan dilakukan, listrik harus dimatikan dari tombaknya, dan udara yang masih tersisa di dalam tangki udara dibuang habis.
- 2) Bagian-bagian yang dibongkar harus diletakkan di kotak atau di atas kertas secara berurutan untuk memudahkan pada waktu pemasangan kembali. Dengan cara ini tidak akan ada suku cadang yang terlewat atau tertukar urutan pemasangannya.
- 3) Paking atau cincin yang rusak harus diganti baru. Paking yang telah dipakai tidak boleh dipasang lagi.
- 4) Jika pencucian dilakukan dengan minyak yang mudah menguap, bagian-bagian harus dikeringkan benar-benar sebelum dipasang. Untuk membersihkan endapan karbon yang berasal dari minyak pelumas sebaiknya dipakai zat pembersih karbon.
- 5) Torak, katup, silinder, dan bagian-bagian lain yang saling meluncur harus diperlakukan secara hati-hati tanpa melukainya.
- 6) Pada waktu memasang kembali, lumurkan terlebih dahulu minyak pelumas yang sesuai pada permukaan-permukaan yang meluncur.

### 6.3.2 Prosedur overhaul

Secara ringkas prosedur ini dapat diperinci sebagai berikut.

- (1) Prosedur pembongkaran kompresor torak
  - (a) Pembongkaran peralatan pembantu
    - 1) Lepas tutup sabuk.
    - 2) Lepas sabuk-V.
    - 3) Untuk kompresor yang dilengkapi dengan pembeban beban otomatis,

**Tabel 6.2 Ikhtisar Pemeriksaan Rutin**  
(Untuk kompresor torak kecil dengan pelumasan minyak).

Objek pemeriksaan	Prosedur dan tindakan	Waktu (pilihlah yang terpendek)			Keterangan
		Setiap 7-10 jam	Setiap 1000 jam	Setiap 3000 jam	
		Setiap 1 bulan	Setiap 4 bulan	Setiap 12 bulan	
Baut, sekrup, dan mur yang kendor	Kencangkan sepenuhnya dengan kunci atau obeng biasa	○			
Sabuk yang rusak atau mulur	Gantilah sabuk yang rusak. (Geserlah motor jika sabuk mulur.	○			
Saringan isap kotor atau tersumbat	Bersihkan dengan sikat atau cara lain	○			Gantilah jika terlalu kotor atau rusak
Penggantian minyak pelumas	Gantilah minyak dan bersihkan ruang engkol dan pengukur permukaan minyak. (Jika kompresor dipakai untuk pertama kali, atau jika beberapa bagian diganti, keluarkan minyak dari ruang engkol setelah 100 jam atau 2 minggu, bersihkan, dan isilah dengan minyak pelumas yang baru).	○			
Kebocoran pada katup udara	Biarkan katup sebagaimana adanya selama 30 menit pada tekanan maksimum, dan amatilah apakah tekanan akan mengalami penurunan tidak lebih dari 10% dari tekanan maksimum (atau 15% untuk kompresor dengan pembebas beban otomatis)			○	Periksalah katup udara jika tekanan turun lebih dari 10%.
Pembongkaran dan pemeriksaan menyeluruh	Membersihkan lapisan arang dari pipa keluar dan dudukan pipa.			○	Gantilah bila perlu. Periksa juga katup udara jika jumlah arang sangat banyak.
	Membersihkan arang dari katup udara			○	Gantilah perangkat katup jika arang terlalu banyak atau katup pecah.
	Goresan dan keausan pada cincin, dan silinder.			○	Gantilah ketiga cincin sekali gus.
	Membersihkan tangki udara			○	

Tabel 6.3 Daftar Pemeriksaan Rutin (untuk kompresor sekrup kecil dengan pelumas minyak).

Bagian yang harus diperiksa	Macam pemeriksaan dan pemeliharaan	Selang pemeriksaan (ambil yang terpendek)						Overhaul	Tindakan yang harus diambil
		Harian	Setiap 500 jam atau 1 bulan	Setiap 1000 jam atau 6 bulan	Setiap 6000 jam atau 1 tahun	Setiap 9000 jam atau 1,5 tahun	Setiap 18000 jam atau 3 tahun		
Badan utama kompresor	Bantalan								Periksalah terhadap bunyi yang tidak normal setiap 12000 jam atau 2 tahun
	Periput (seal) mekanis				Minyak bocor ke luar ▲				
								○	
	Paking							○	
Saluran udara (manifold)	Cat pada badan						▲	▲	Perbaiki dan cat jika terkelupas.
	Saringan minyak		Pertama kali ▲	Setelah kedua kali ▲				○	Hilangkan kotoran dengan meniupkan udara.
	Katup pengatur temperatur						▲	○	Jika tidak ada kelainan, selang dapat diperpanjang.
	Elemen pemisah						○	○	Jangan lupa mengganti setiap 9000 jam.
Pemisah minyak	Cat di permukaan dalam dari tangki						▲	▲	Perbaiki dan cat jika terkelupas.

Tabel 6.3

Bagian yang harus diperiksa	Macam pemeriksaan dan pemeliharaan	Selang pemeriksaan (ambil yang terpendek)						Overhaul	Tindakan yang harus diambil
		Harian	Setiap 500 jam atau 1 bulan	Setiap 3000 jam atau 6 bulan	Setiap 6000 jam atau 1 tahun	Setiap 9000 jam atau 1,5 tahun	Setiap 18000 jam atau 3 tahun		
Pemisah minyak	Pengukur tinggi permukaan minyak			▲		○	○		
	Tabung kepler		Pertama kali atau bila bocor ▲		▲	○	○		Bila tidak ada pengerasan dan kebocoran, selang dapat diperpanjang.
	Paking					○	○		
	Cincin-O (lubang pelumas)					○	○		
Pendingin	Sirip			▲		▲	▲		
	Tabung						▲		
Minyak pelumas	Memeriksa tinggi permukaan	▲	Periksalah apakah permukaan ada di antara dua garis batas pada pengukur permukaan minyak.						Tambahkan minyak sampai batas atas dan tidak lebih.
	Menaambah minyak		▲				→		
	Mengganti minyak			**○			○		
Saringan udara	Pembersihan		↑	○			○		Bersihkan debu dan minyak dengan meniupkan udara.
Katup pengatur tekanan dengan katup cegah	Pembersihan dan pemeriksaan				( )		( )		
Katup pengaman	Pemeriksaan	▲	Periksalah operasi pada 9,5% kg/cm <sup>2</sup> (0,93 MPa)				▲		

Tabel 6.3

Bagian yang harus diperiksa		Macam pemeriksaan dan pemeliharaan	Selang pemeriksaan (ambil yang terpendek)						Overhaul	Tindakan yang harus diambil
Alat pengatur kapasitas	Pembebasan beban Tombol tekanan Katup		Harian	Setiap 500 jam atau 1 bulan	Setiap 3000 jam atau 6 bulan	Setiap 6000 jam atau 1 tahun	Setiap 9000 jam atau 1,5 tahun	Setiap 18000 jam atau 3 tahun		
			▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲
		Pembersihan dan pemeriksaan	▲	▲	▲	▲	▲	▲	○	
		Pemeliharaan dan pemeriksaan	▲	▲	▲	▲	▲	▲	○	
		Pemeliharaan	▲	▲	▲	▲	▲	▲	○	
Sabuk V		Memeriksa ketegangan			▲					Gantilah jika sabuk sudah mulur secara berlebihan.
		Penggantian							○	
Rele temperatur		Penggantian							○	Selang dapat diperpanjang jika tidak ada kelainan.
Rele pencegah putaran balik		Penggantian							○	Selang dapat diperpanjang jika tidak ada kelainan.
Bagian-bagian listrik dan instrumen		Pemeriksaan				▲			▲	
Sistem pipa		Memeriksa bocoran		Pertama kali ▲				▲	○	Periksa bocoran minyak atau udara.
Baut dan sekrup yang kendor		Pemeriksaan		▲				▲	○	Periksa kelainan pada suara.
Kipas angin		Pembersihan			▲					
		Memeriksa retakan				▲			▲	

Catatan: ▲ ..... Pemeriksaan dan pembersihan  
○ ..... Penggantian

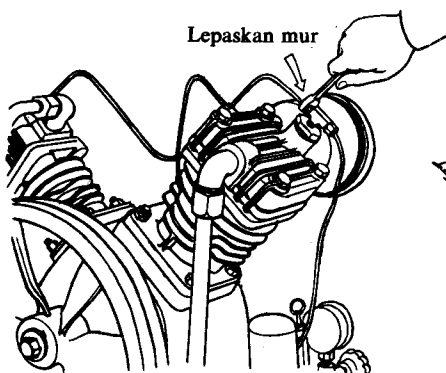
lepas pipa pembebas beban antara kompresor dan katup pilot pembebas beban. (Gb. 6.1).

- 4) Peralatan pembantu yang lain perlu dilepas bila perlu.

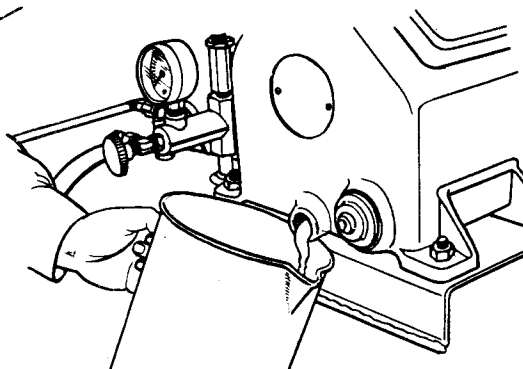
(b) Pembongkaran badan kompresor

Badan kompresor dapat dibongkar lebih mudah jika dalam keadaan terpasang di atas tangki udara, dan dilakukan sbb.

- 1) Lepaskan pipa minyak pelumas (Gb. 6.2).
- 2) Lepaskan peredam bunyi, pipa pembebas beban, dan pipa pernafasan ruang engkol.
- 3) Lepaskan pipa keluar. (Lihat Gb. 6.3 dan 6.4) Jika mur pipa keluar sukar dibuka karena macet, biasanya mudah dilepas setelah diketok dengan palu.
- 4) Melepaskan kepala silinder (Lihat Gb. 6.5 dan 6.6). Hal berikut ini dianjurkan pada waktu membuka kepala silinder.
  - i) Dalam hal kompresor menggunakan pembebas beban otomatis, bus pembebas beban harus dikendorkan lebih dahulu untuk memudahkan pembongkaran kemudian.
  - ii) Jika kepala silinder tidak dapat dibuka (karena macet) sekalipun baut-baut telah dilepas, ketoklah keliling kepala silinder dengan palu, tusukkan obeng pada celah yang terbuka ke arah lubang baut (arah diagonal). Maka kepala silinder akan mudah dibuka. Jika obeng ditusukkan dari arah yang salah, permukaan dudukan akan rusak dan udara akan bocor.
- 5) Membongkar kepala silinder. (Lihat Gb. 6.7).
- 6) Membongkar katup udara. (Lihat Gb. 6.8). Karena baut dan sekrup-sekrup kecil dari plat katup dan penahan katup dari katup kepek semuanya dikunci, maka jika sudah dibuka hampir tak dapat dipakai lagi. Katup kepek hanya boleh dibersihkan dengan tiupan udara. Seperti tertera dalam ikhtisar pemeriksaan rutin (Tabel 6.2), katup harus diperiksa secara periodik kalau-kalau ada kelainan. Jika ada bagian yang rusak harus diganti. Pada waktu memasang kembali, harus digunakan paking kepala silinder dan paking katup yang baru.
- 7) Buka puli kompresor dan keluarkan pasak dengan menariknya. (Lihat Gb. 6.9). Pasak dapat terluka pada waktu dikeluarkan. Bagian yang tergores atau terluka harus dihaluskan kembali untuk memudahkan pemasangan.
- 8) Buka silinder.

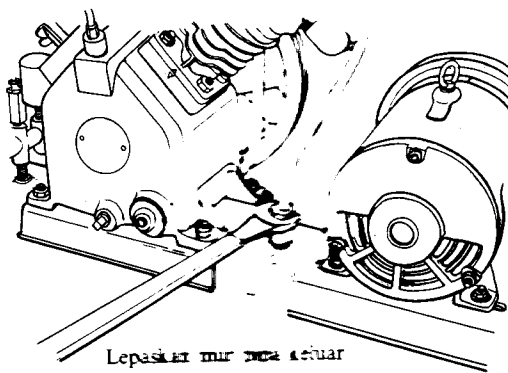


Gb. 6.1 Melepaskan pipa pembebas beban.

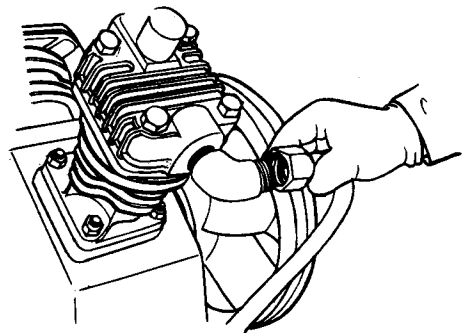


Gb. 6.2 Menguras minyak bekas.

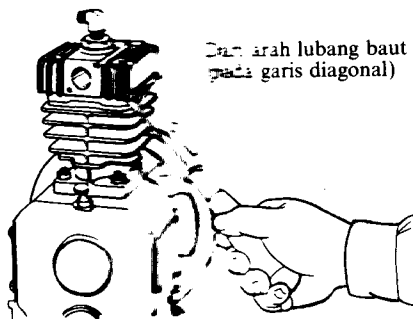




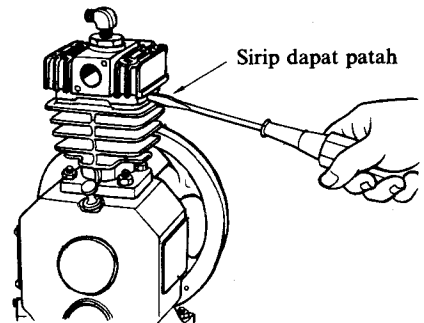
Gb. 6.3 Melepaskan mur pipa keluar.



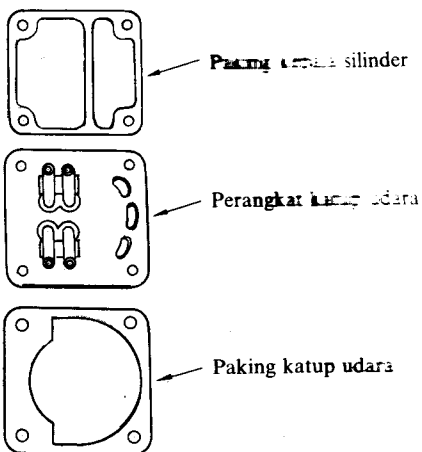
Gb. 6.4 Melepaskan pipa keluar.



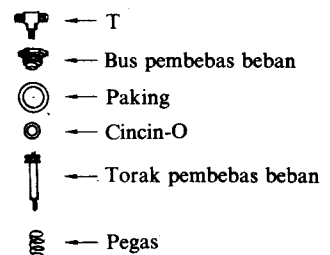
Gb. 6.5 Cara yang benar untuk melepaskan kepala silinder



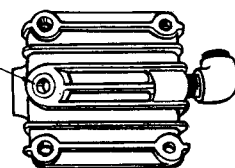
Gb. 6.6 Cara yang salah dalam melepaskan kepala silinder.



Gb. 6.8 Katup kepek.

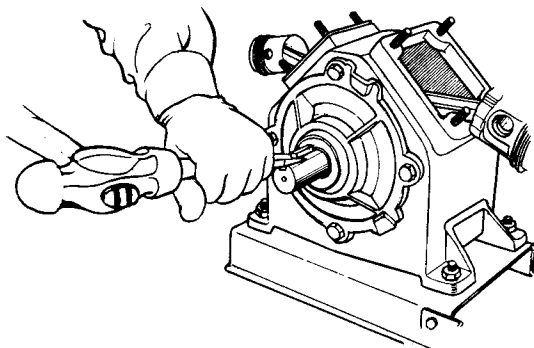


Hanya bekerja  
pada  
pembebas  
beban  
otomatis

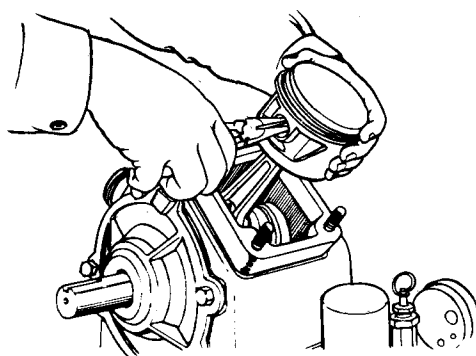


Gb. 6.7 Membongkar kepala silinder.

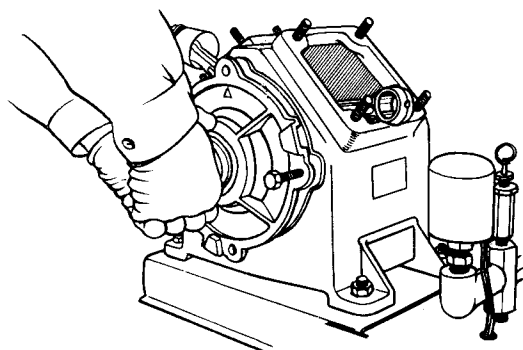
- 9) Buka torak. (Lihat Gb. 6.10). Buka cincin pengunci pen torak dengan tang yang sesuai, dan keluarkan pen torak.
- 10) Keluarkan poros engkol, batang penggerak, bantalan bola dan rumah bantalan secara bersama-sama. (Lihat Gb. 6.11 dan 6.12). Dalam hal ini perlu diperhatikan petunjuk berikut.
  - i) Untuk mencegah lepasnya rumah bantalan dari kotak engkol. buka baut rumah bantalan, dan sebagai gantinya pasang dua buah baut dari kepala silinder pada posisi diagonal.
  - ii) Untuk mengeluarkan poros engkol, batang penggerak, bantalan bola. dan rumah bantalan dari kotak engkol secara bersama-sama, tarik bagian penimbang pada poros engkol lebih dahulu. kemudian tarik batang penggerak keluar.
- 11) Tarik keluar rumah bantalan (Gb. 6.13). Rumah bantalan dapat dikeluarkan dengan mudah jika bantalan dengan rumahnya di sebelah bawah dijatuhkan dari ketinggian kurang lebih 10 cm ke lantai. Dalam hal ini perlu dijaga agar perapat minyak tidak rusak (terutama bibirnya) pada waktu menarik keluar rumah bantalan.
- 12) Tarik keluar bantalan bola dari poros engkol dengan penarik (treker). (Lihat Gb. 6.14). Untuk mengeluarkan bantalan dari sisi sabuk-V, sekrupkan baut-baut dan kemudian tarik bantalan keluar dengan penarik puli untuk mencegah rusaknya ulir poros engkol.



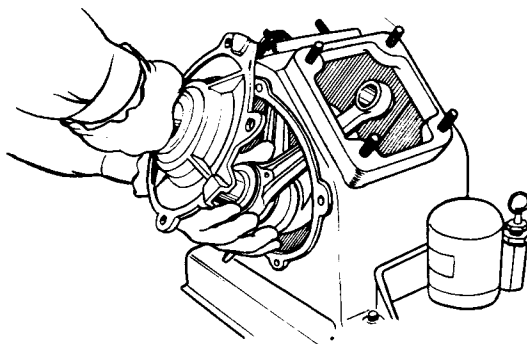
Gb. 6.9 Melepas pasak.



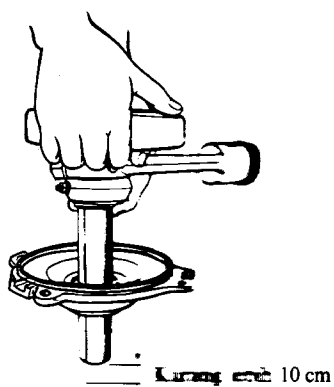
Gb. 6.10 Melepaskan torak.



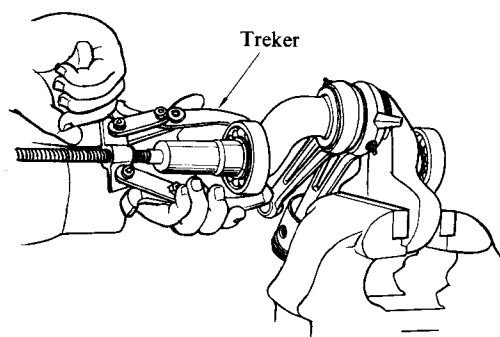
Gb. 6.11 Melepaskan poros engkol, batang penggerak, bantalan, dan rumah bantalan.



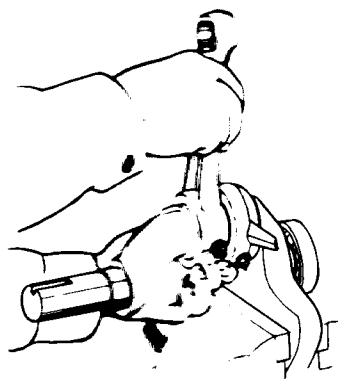
Gb. 6.12 Melepaskan poros engkol, batang penggerak, bantalan, dan rumah bantalan.



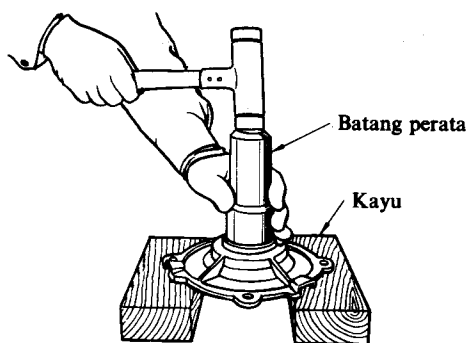
Gb. 6.13 Cara menarik keluar rumah bantalan.



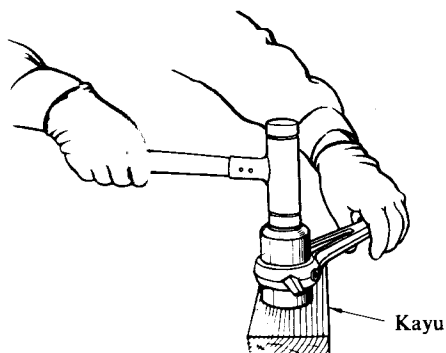
Gb. 6.14 Cara menarik keluar bantalan.



Gb. 6.15 Cara mengeluarkan rumah penggerak.

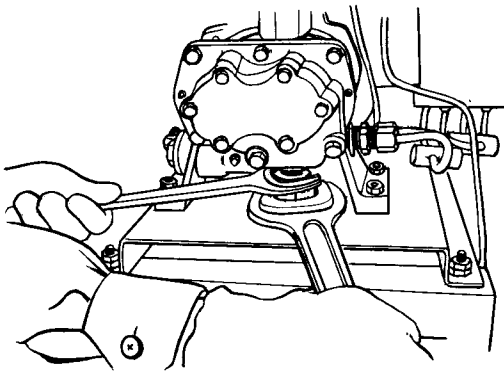


Gb. 6.16 Cara mengeluarkan perapat minyak.

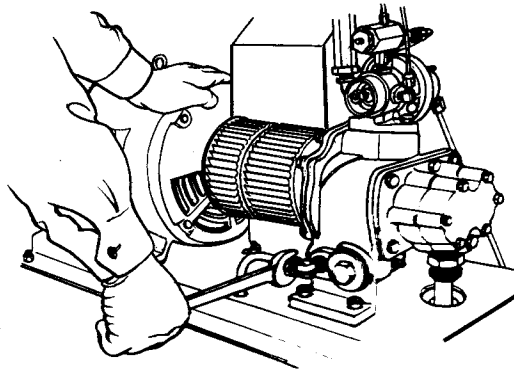


Gb. 6.17 Mengeluarkan metal dari batang penggerak.

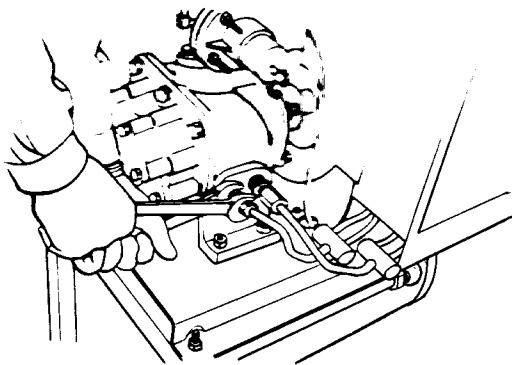
- 13) Buka cincin pegas dan cincin pen engkol lalu tarik keluar poros engkol. (Lihat Gb. 6.15). Dalam hal ini harus dijaga agar metal pen torak tidak sampai rusak pada waktu mengeluarkan batang penggerak.
  - 14) Tarik keluar perapat minyak dari rumah bantalan. (Lihat Gb. 6.16). Langkah ini tidak perlu jika perapat minyak masih baik. Untuk mengeluarkan perapat minyak yang perlu diganti, perapat harus dipukul dengan perantaraan batang perata (dengan diameter sedikit lebih kecil dari perapat minyak) agar pemukulan dapat merata.
  - 15) Keluarkan metal-metal bantalan (pada pen engkol dan pen torak) dari batang penggerak. (Lihat Gb. 6.17). Pekerjaan ini tidak diperlukan jika metal masih baik, tidak aus atau tergores. Metal harus dikeluarkan dengan perantaraan batang perata yang diameternya sedikit lebih kecil dari diameter luar metal. Adapun metal pen engkol baru dapat dikeluarkan setelah sekrup penetap dibuka. Untuk mengeluarkan pen ini batang penggerak harus diletakkan di atas landasan dari sepotong kayu.
- (2) Prosedur pembongkaran pada kompresor sekrup  
Langkah pembongkaran kompresor ini dapat dilakukan sbb.
- (a) Pembongkaran kemasan dan peralatan pembantu



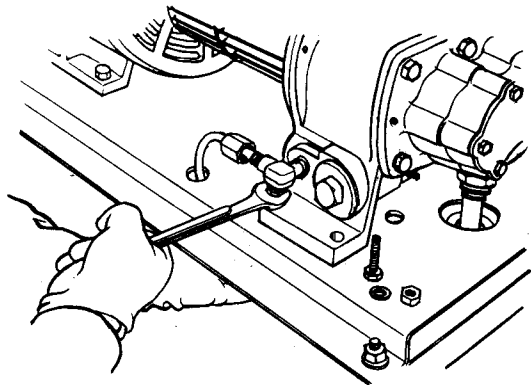
Gb. 6.18 Melepaskan pipa keluar  
(dari kompresor sekrup).



Gb. 6.19 Melepaskan pipa minyak.

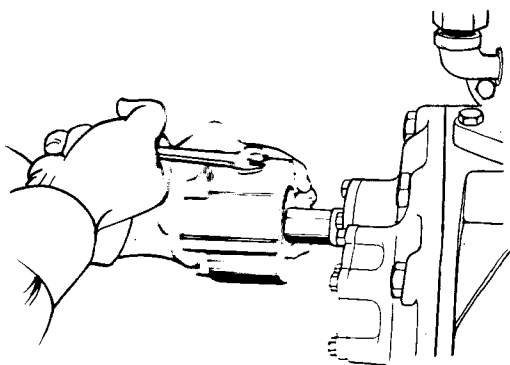


Gb. 6.20 Melepaskan pipa pendingin.

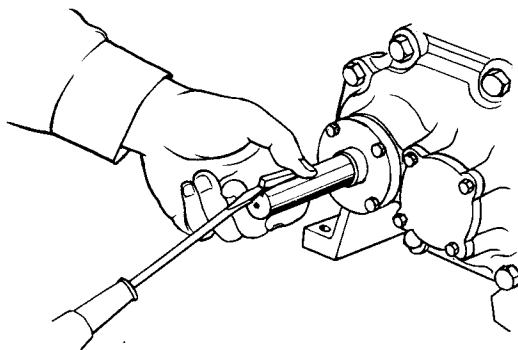


Gb. 6.21 Melepaskan baut dari landasan kompresor.

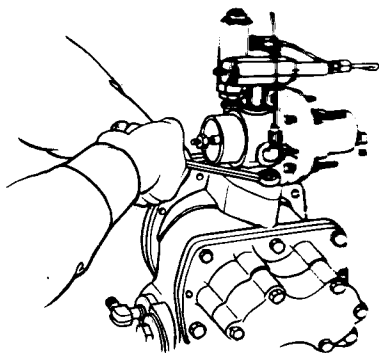
- 1) Bongkar kemasan.
  - 2) Buka pipa keluar di sekitar badan kompresor. Demikian pula bongkar pipa-pipa minyak, pipa-pipa pendingin, dll. (Lihat Gb. 6.18, 6.19 dan 6.20).
  - 3) Lepas baut-batu pemegang badan kompresor (Lihat Gb. 6.21).
  - 4) Bongkar peralatan pembantu yang lain bila dipandang perlu.
- (b) Urutan pembongkaran badan kompresor
- 1) Lepas kopling dan pasak. (Gb. 6.22 & 6.23).
  - 2) Lepas pengatur kapasitas. (Gb. 6.24).
  - 3) Lepas perapat mekanik pada sisi rotor yang beralur cembung (Gb. 6.25). Perapat ini terdiri dari cincin karbon yang bergesek pada plat perapat. Plat ini harus dipertakukan dengan hati-hati supaya tidak jatuh atau rusak. Permukaan alas pada plat dan karbon harus dilindungi supaya tidak rusak.
  - 4) Buka kepala silinder (Gb. 6.26).
  - 5) Buka rumah-S<sup>1)</sup> dari rumah (Gb. 6.27, 6.28 dan 6.29).
  - 6) Buka rumah dengan penarik (Gb. 6.30).
  - 7) Keluarkan baut dari tutup-D<sup>2)</sup> dan lepas tutup ini serta perangkat rotor dari rumah (Gb. 6.31 & 6.32). Jikap pembukaan tutup-D sulit, pukul baut-baut dengan palu plastik agar tutup mudah dibuka.
  - 8) Lepas pasangan rotor dari tutup-D (Gb. 6.33, dan 6.34).



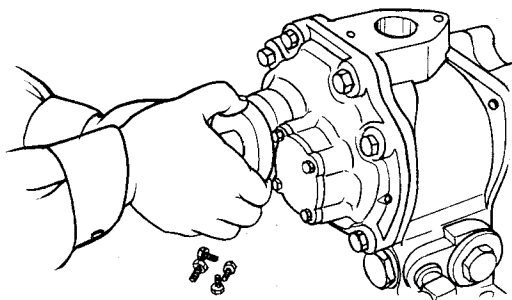
Gb. 6.22 Melepaskan kopling.



Gb. 6.23 Mengeluarkan pasak.

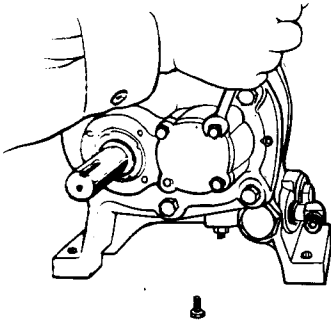


Gb. 6.24 Melepaskan pengatur kapasitas.

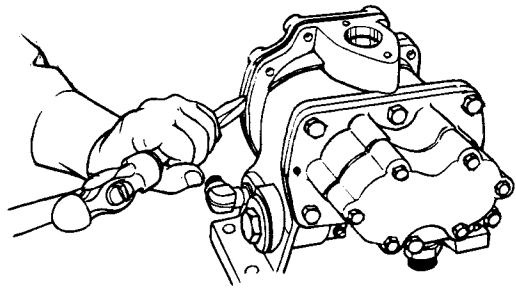


Gb. 6.25 Melepaskan perapat mekanis.

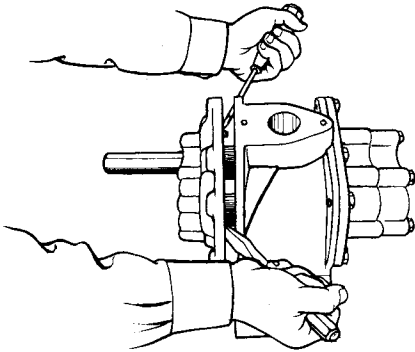
<sup>1)</sup> S=Suction (=sisi isap)<sup>2)</sup> D=Delivery (=sisi keluar)



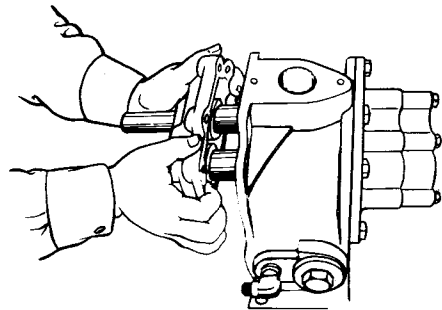
Gb. 6.26 Membuka penutup.



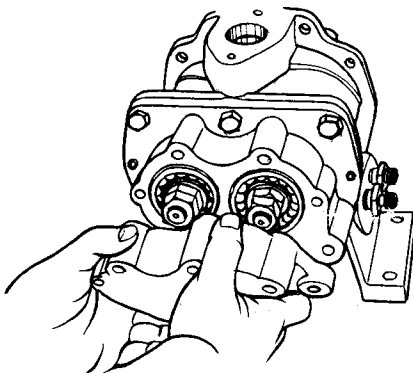
Gb. 6.27 Membuka penutup-S.



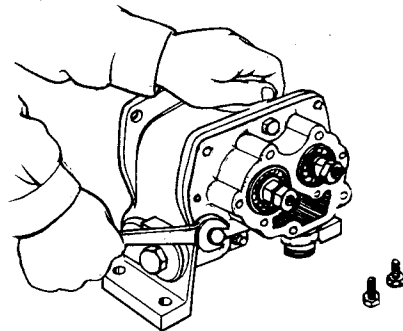
Gb. 6.28 Melepaskan tutup-S dengan mencongkel secara serentak pada dua sisi yang berseberangan.



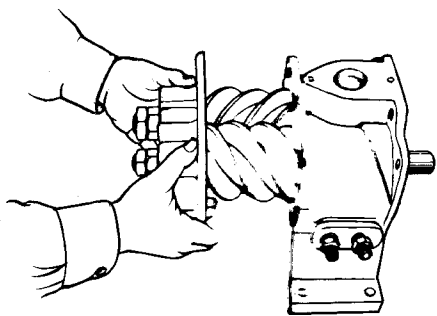
Gb. 6.29 Menarik tutup-S.



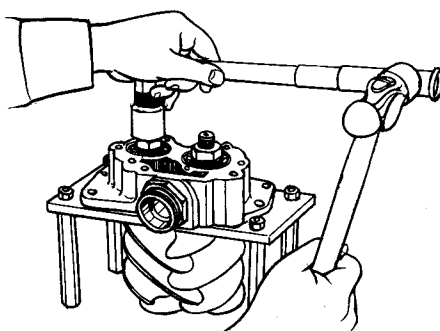
Gb. 6.30 Melepaskan tutup ujung.



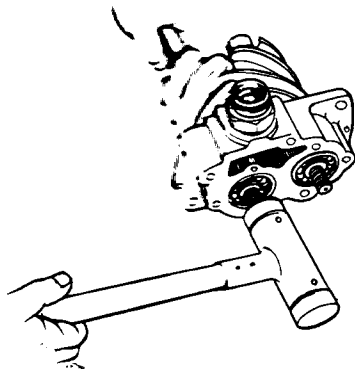
Gb. 6.31 Melepaskan tutup-D.



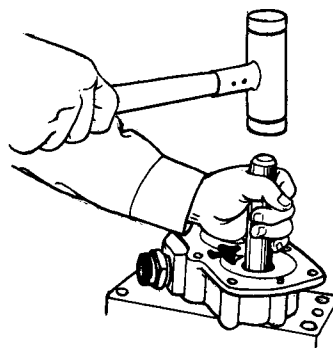
Gb. 6.32 Melepaskan rotor dari tutup-D.



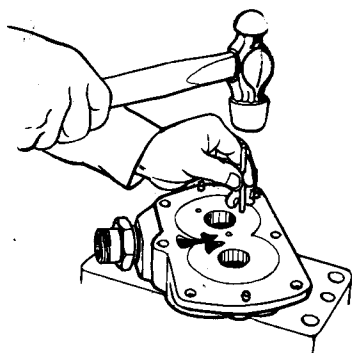
Gb. 6.33 Melepaskan mur ganda dari rotor.



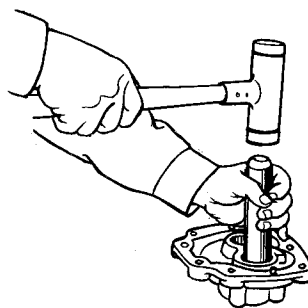
Gb. 6.34 Mengeluarkan rotor dari tutup-D.



Gb. 6.35 Mengeluarkan bantalan dari tutup-D (1).



Gb. 6.36 Mengeluarkan bantalan dari tutup-D (2).



Gb. 6.37 Mengeluarkan bantalan dari tutup-S.

- 9) Lepaskan bantalan dari tutup D (Gb. 6.33 dan 6.36).
- 10) Lepaskan bantalan dari tutup S (Gb. 6.37).

### 6.3.3 Prosedur pemeriksaan

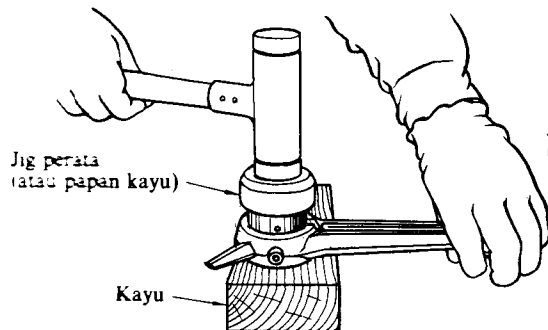
Setelah pembongkaran, bagian-bagian kompresor seperti katup udara, silinder, cincin torak dan poros engkol harus diperiksa secara cermat. Sebuah contoh prosedur pemeriksaan dan standar pengendalian diberikan dalam Tabel 6.2 dan 6.3.

### 6.3.4 Perakitan kompresor dan prosedurnya

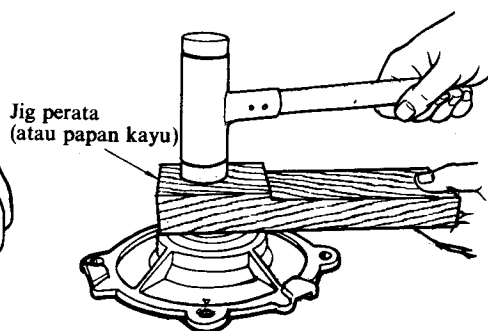
#### (1) Perakitan kompresor torak

##### (a) Prosedur perakitan badan kompresor

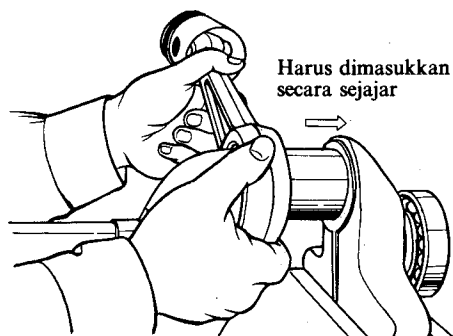
- 1) Pasang metal-metal pada batang penggerak. Untuk ini gunakan batang perata atau papan kayu di atas metal, kemudian pukullah tegak lurus. (Lihat Gb. 6.38). Pada waktu memasang metal, lubang minyak pada metal harus berimpit dengan lubang minyak pada batang penggerak. Jika kompresor memakai pen engkol, lubang sekrup penutup juga harus saling berimpit.
- 2) Setelah metal pen bantalan dipasang, kencangkan sekrup penutup.
- 3) Pasang perapat minyak pada rumah bantalan (Gb. 6.39). Sebelum perapat dipasang, permukaan luarnya harus diulasi dengan cat perekat. Cara memasang perapat ialah dengan memukulnya dengan palu. Agar perapat tidak



Gb. 6.38 Memasang metal (pada kompresor bolak-balik).

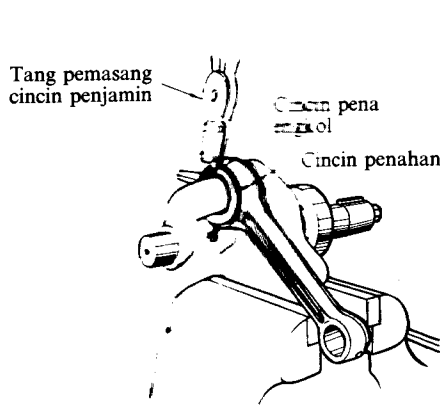


Gb. 6.39 Memasang perapat minyak.

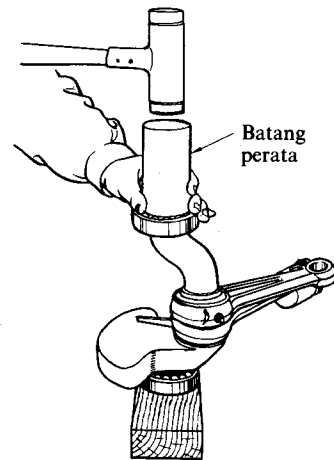


Gb. 6.40 Memasang batang penggerak.





Gb. 6.41 Memasang cincin pena engkol dan cincin penahan.

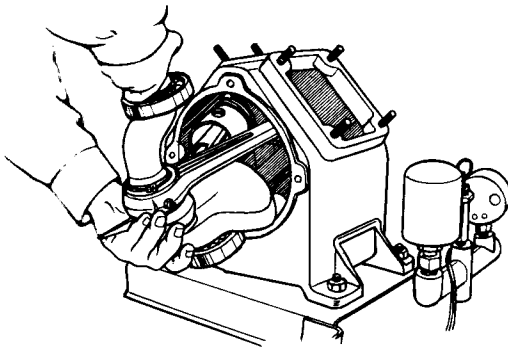


Gb. 6.42 Memukul bantalan bola.

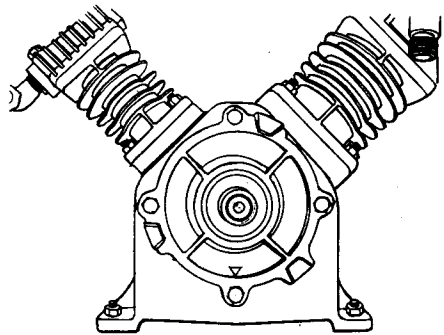
rusak pada waktu dipukul harus diberi perantara batang perata atau papan kayu.

#### 4) Pasang poros engkol

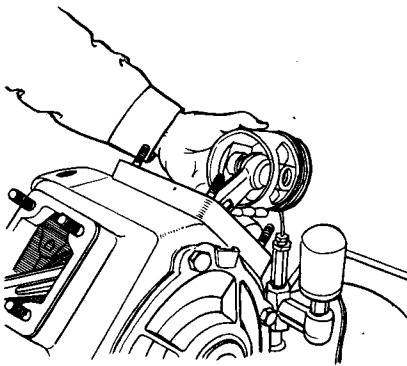
- i) Pasang batang penggerak pada poros engkol. (Lihat Gb. 6.40). Batang harus dipasang tanpa menggunakan paksaan dengan jalan melumasi lebih dahulu. Jika kompresor mempunyai dua atau tiga buah silinder, urutan pemasangan batang penggerak dan tuas pemercik minyak, serta arah pemercik minyak dan arah lubang minyak harus dijaga jangan sampai salah.
- ii) Pasang cincin pen engkol dan cincin pegas untuk menetapkan batang penggerak pada poros engkol. (Gb. 6.41).
- iii) Pasang bantalan bola pada poros engkol. (Gb. 6.42). Bantalan bola dapat dengan mudah dipasang setelah dipanaskan di dalam minyak pada temperatur 150° sampai 200°C. Jika pemanasan tidak diperkenankan, bantalan bola harus dipasang dengan memukulnya dengan perantaraan batang perata. Jika sebagai batang perata digunakan pipa baja yang dikenakan pada cincin dalam bantalan, maka bantalan dapat dipukul secara merata dengan palu. Jika bantalan dipanaskan dengan minyak maka minyak pemanas harus dibersihkan dan bantalan lalu diganti dengan pelumas yang seharusnya dipakai.
- iv) Pasang perangkat poros engkol, batang penggerak, dan bantalan bola pada kotak engkol. (Gb. 6.43). Juga lumuri keliling luar bantalan bola dengan minyak pelumas sebelum dipasang. Ujung kecil dari batang penggerak harus dimasukkan lebih dahulu ke dalam kotak engkol.
- v) Pasang paking rumah bantalan (Gb. 6.44). Rumah bantalan akan dapat dipasang dengan mudah jika baut panjang untuk kepala silinder digunakan sebagai pemandu. Mula-mula rumah bantalan diketok dengan palu, kemudian baut bantalan dikencangkan sedikit demi sedikit secara bergantian untuk memasang rumah bantalan pada kotak engkol. Juga gaya pengencangan engkol harus diatur setepat mungkin dengan mengatur tebal paking rumah bantalan (yang mempunyai tebal standar 0,8 mm) sampai dapat mulai berputar sendiri oleh berat pengimbang.



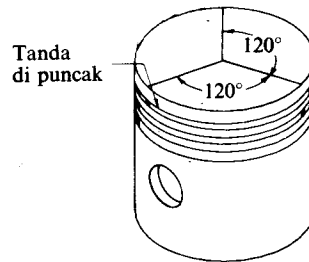
**Gb. 6.43** Memasang poros engkol, batang penggerak, dan bantalan.



**Gb. 6.44** Memasang rumah bantalan.



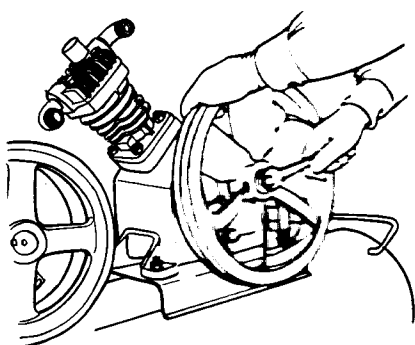
**Gb. 6.45** Memasang torak.



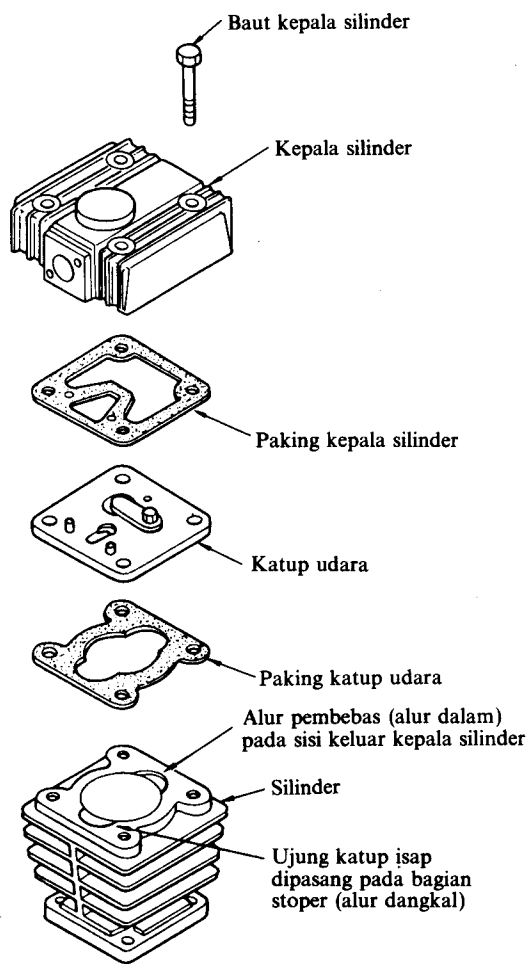
Gabungan 3 garis

**Gb. 6.46** Memasang cincin torak.

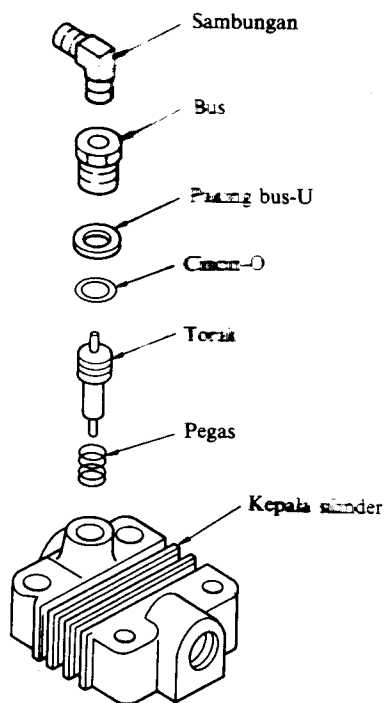
- 5) Pasang torak pada batang penggerak (Gb. 6.45) Ulaskan minyak pelumas pada permukaan yang meluncur. Tandai letak belahan cincin torak pertama pada puncak torak. Belahan cincin-cincin torak berikutnya harus saling membentuk sudut  $120^\circ$  antara yang satu dengan yang lain setelah terpasang (Gb. 6.46).
- 6) Pasang silinder. Puncak silinder harus diatur dengan mengatur tebal paking silinder sedemikian rupa hingga puncak silinder terletak 0 sampai 0,5 mm lebih tinggi dari pada puncak torak pada titik mati atasnya. Permukaan puncak torak tidak boleh lebih dari pada puncak silinder. Bila mengganti silinder katup kepek, sisi pembatas katup isap harus diperiksa apakah sudah dihaluskan sehingga tidak bergerigi. Jika belum harus dikikir atau diampelas. Silinder ini juga harus dipasang dengan cermat sebab arahnya tertentu.
- 7) Masukkan pasak puli ke tempatnya di poros dan pasang puli kompresor (Gb. 6.47) Setelah puli terpasang pada poros engkol, kencangkan baut-baut puli.
- 8) Pasang perangkat katup (Gb. 6.48). Jangan buka bungkus katup kepek yang baru, sampai saat pemasangan tiba. Jika bungkus rusak dan katup terbuka di udara untuk beberapa lama, debu dapat menempel dan menyebabkan kebocoran setelah dipasang.
- 9) Pasang katup udara pada kepala silinder
  - i) Luruskan dan pasang pen penetap posisi katup kepek pada lubang pemandu di dasar kepala silinder.



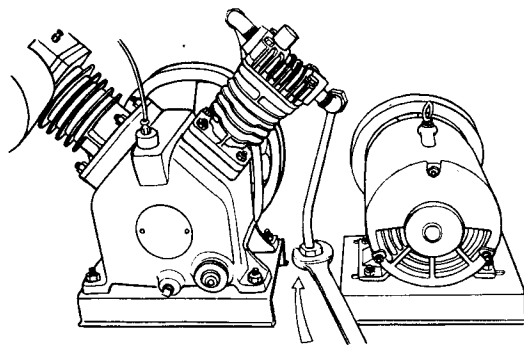
Gb. 6.47 Memasang nilai kompresor.



Gb. 6.48 Memasang perangkat katup udara.

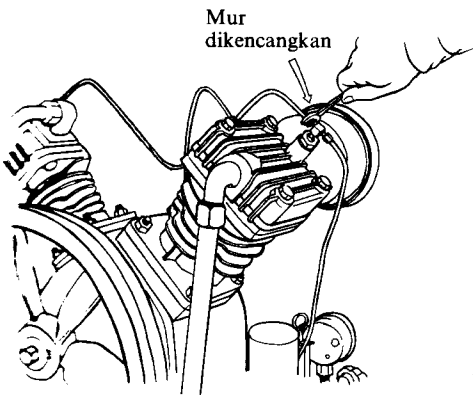


Gb. 6.49 Merakit pembebas beban.

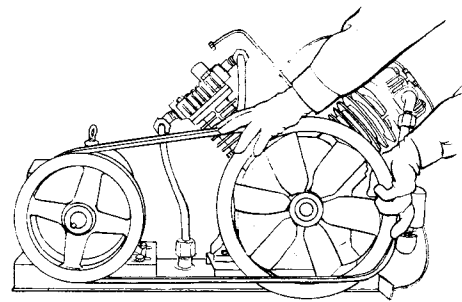


Gb. 6.50 Memasang pipa keluar.

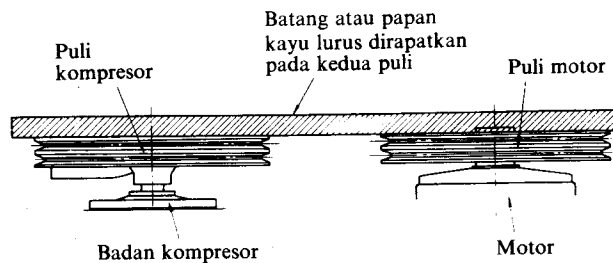
- ii) Ganti paking katup udara dan paking kepala silinder dengan yang baru.
  - iii) Atur dengan benar letak kepala sekrup kecil penetap dari plat katup isap atau baut penetap katup isap dan penjaga katup isap di alur ruang sisa (clearance) di puncak silinder. Kemudian secara bersama-sama katup kepek, kepala silinder, dan paking dikencangkan dengan baut kepala silinder.
  - iv) Dalam hal kompresor dengan pembebas beban otomatis, pasang pembebas beban pada kepala silinder. (Gb. 6.49). Pada waktu cincin-O dipasang pada torak pembebas beban, cincin ini akan terpuntir. Jika demikian, harus dibetulkan setelah terpasang. Juga ulasi cincin-O dengan zat pelumas yang disebut molybdenum bisulfida. Pada bus-U, gunakan paking cair jenis tak mengering.
- 10) Pasang pipa keluar (Gb. 6.50). Kendorkan sedikit baut kepala silinder dan untuk sementara kencangkan mur pipa keluar. Kemudian kencangkan baut kepala silinder dan selanjutnya kencangkan juga mur pipa keluar.
- (b) Urutan pemasangan peralatan pembantu
- 1) Untuk kompresor kecil dengan pembebas beban, pasang pipa pembebas beban (Gb. 6.51).
  - 2) Pasang sabuk-V. Sebelum sabuk-V dipasang, luruskan puli kompresor terhadap puli motor.
    - i) Atur letak motor sesuai dengan panjang sabuk-V. Motor ditetapkan pada jarak sedikit lebih besar dari jangkauan sabuk, seperti diperlihatkan dalam Gb. 6.52, kemudian sabuk dipasang. Setelah terpasang, tekan sabuk pada titik tengah antara puli motor dan kompresor ke arah dalam dengan jari.



Gb. 6.51 Memasang pipa pembebas beban.



Gb. 6.52 Memasang sabuk-V.



Gb. 6.53 Meluruskan puli.

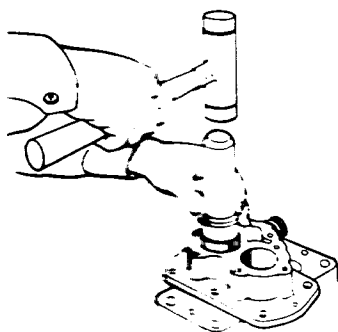
Jika puli melentur 10 mm, maka tegangan sabuk adalah optimum.

- ii) Atur letak motor hingga kedua muka luar puli motor dan kompresor menjadi lurus (sebidang) (Gb. 6.53). Poros motor dan kompresor yang tidak sejajar akan menyebabkan getaran pada sabuk.
- iii) Periksa tegangan sabuk dan tetapkan motor.
- iv) Pasang tutup atau pelindung sabuk. Setelah pemasangan selesai, lakukan uji coba seperti diuraikan terdahulu.

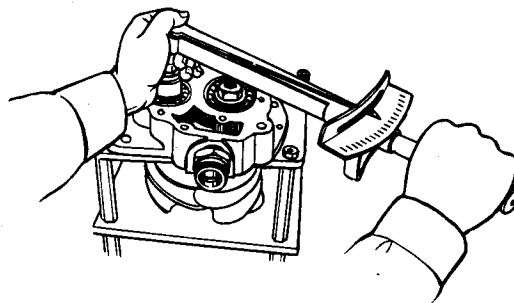
## (2) Prosedur perakitan kompresor sekrup

### (a) Perakitan badan kompresor

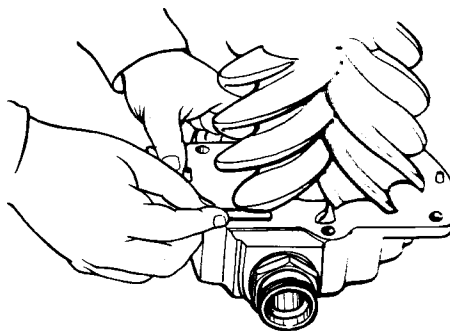
- 1) Masukkan bantalan-bantalan rotor pada tutup-D. (Gb. 6.54). Bersihkan gemuk ~~gemuk~~ pelindung karat dari bantalan dan ulasi permukaan dalam tutup-D dan bantalan dengan minyak pelumas baru. Setelah itu tekan bantalan secara rata-rata. Dalam hal ini harus diperhatikan agar bantalan tidak terbalik letaknya.
- 2) Pasang rotor pada tutup-D.
- 3) Kencangkan mur ganda dari masing-masing rotor dengan torsi yang telah ditentukan (Gb. 6.55).
- 4) Periksa kelonggaran D (Gb. 6.56). Ukur kelonggaran (clearance) D pada beberapa titik memakai pengukur tebal (feeler) untuk kedua rotor dan yakinkan bahwa semuanya sesuai dengan yang ditentukan. Kelonggaran ini akan sangat



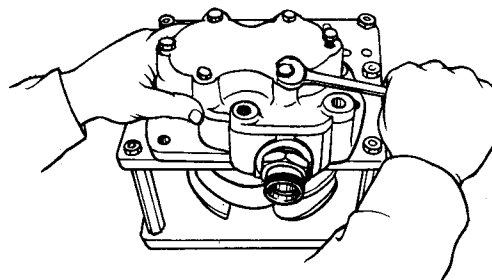
Gb. 6.54 Memasukkan bantalan (pada kompresor sekrup).



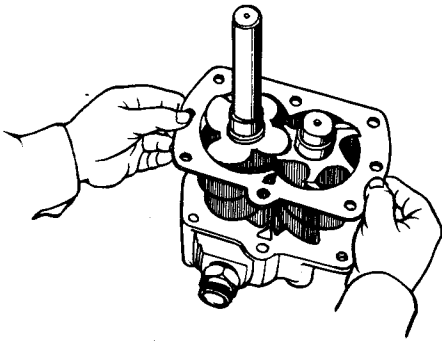
Gb. 6.55 Mengencangkan mur atau baut dengan kunci momen (torque wrench) untuk memastikan momen yg tepat.



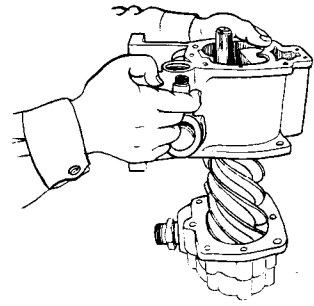
Gb. 6.56 Mencocokkan kelonggaran (clearance)-D.



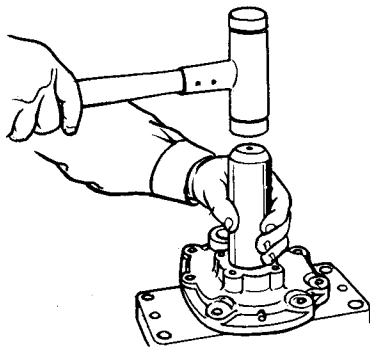
Gb. 6.57 Memasang tutup ujung.



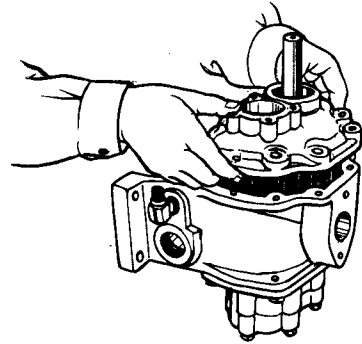
Gb. 6.58 Memasang paking tutup-D.



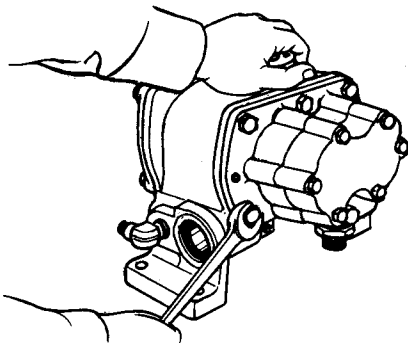
Gb. 6.59 Memasang rumah.



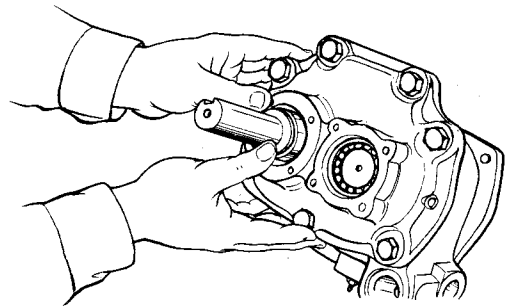
Gb. 6.60 Memasang bantalan pada tutup-S.



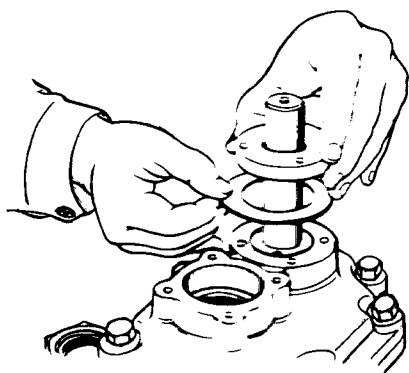
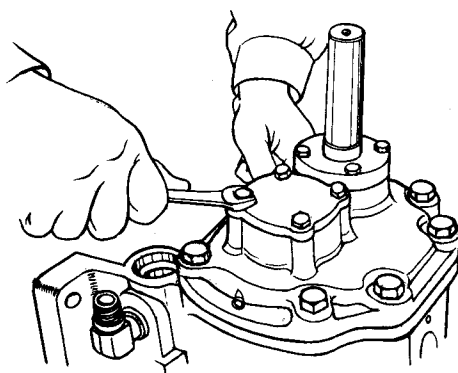
Gb. 6.61 Memasang tutup-S pada rumah.



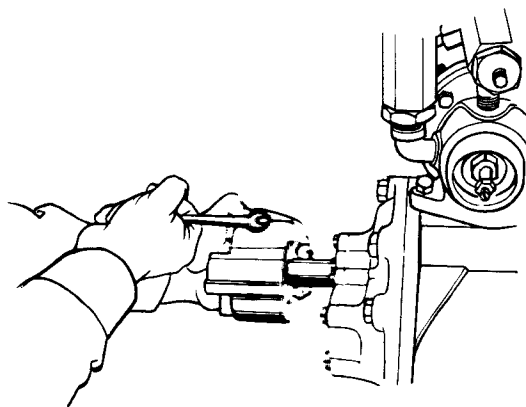
Gb. 6.62 Memasang tutup-D pada rumah.



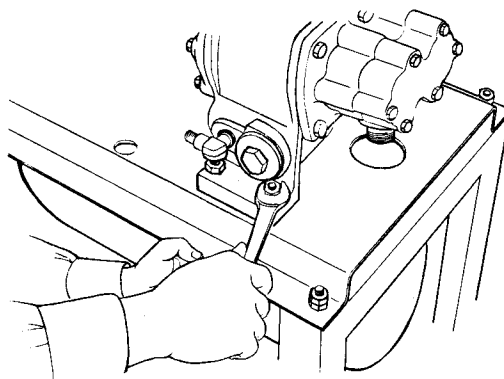
Gb. 6.63 Memasang perapat mekanis.

Gb. 6.64 Memasang ~~plat~~ perapat pada tutup-S.

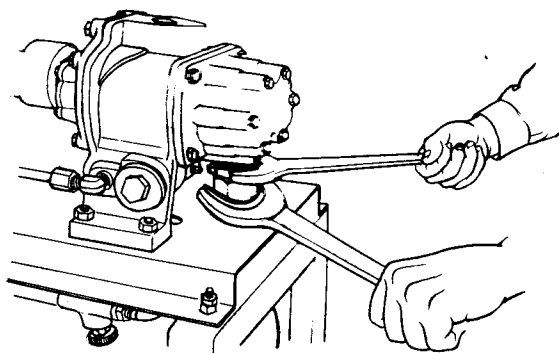
Gb. 6.65 Memasang tutup pada tutup-S.



Gb. 6.66 Memasang kopling.



Gb. 6.67 Memasang badan kompresor pada landasan.



Gb. 6.68 Memasang pipa keluar.

mempengaruhi performansi kompresor. Jika kelonggaran ini terlalu kecil, rotor akan menyentuh tutup-D.

- 5) Pasang tutup ujung (Gb. 6.57).
  - 6) Pasang paking tutup-D (Gb. 6.58).
  - 7) Pasang rumah (Gb. 6.59). Dalam hal ini pakailah minyak baru, kemudian pasangkan.
  - 8) Pasang bantalan sisi isap pada tutup-S (Gb. 6.60).
  - 9) Pasang tutup-S pada rumah (Gb. 6.61).
  - 10) Kencangkan tutup-D pada rumah (Gb. 6.62).
  - 11) Pasang perapat mekanis (Gb. 6.63).
  - 12) Pasang plat perapat dan tutup pada tutup-S (Gb. 6.64 & 6.65).
  - 13) Pasang pasak dan kopling (Gb. 6.66).
- (b) Urutan perakitan kemasan dan peralatan pembantu
- 1) Pasang pengatur kapasitas pada badan kompresor.
  - 2) Hubungkan badan kompresor dan motor, dan pasang badan kompresor pada landasan (Gb. 6.67).
  - 3) Pasang pipa minyak dan pipa keluar (Gb. 6.68).
  - 4) Rakit kemasan. Setelah perakitan selesai, lakukan uji coba pada kompresor seperti diuraikan di muka.

## 6.4 Mengatasi Gangguan Dan Tindakan Pencegahan Dini

Kompresor tidak akan banyak mengalami gangguan jika pemeriksaan harian dan periodik dilaksanakan secara teratur. Namun gangguan juga dapat timbul dari perubahan kondisi kerja atau pemeliharaan yang salah.

### 6.4.1 Pedoman umum

- 1) Jika gangguan terjadi, gejalanya harus ditentukan dengan tepat dengan menggunakan keterangan yang lengkap dari pemakai. Dari keterangan ini, yang di antaranya menyebutkan saat dan kondisi gangguan, dapat ditentukan sebab-sebabnya.
- 2) Jika kompresor masih mungkin dijalankan, maka dapat dioperasikan untuk diamati gejala-gejala gangguannya dalam keadaan bekerja.
- 3) Seluruh sistem hendaknya diperiksa secara cermat sebelum membuat kesimpulan.
- 4) Penanganan gangguan hendaknya didasarkan atas analisa dan dilaksanakan secara sistematis.

### 6.4.2 Pencegahan dan perbaikan

Gejala gangguan serta cara mengatasinya diberikan secara terperinci di dalam Tabel 6.4 dan 6.5 untuk kompresor, dan Tabel 6.6 untuk motor.



Tabel 6.4 Tindakan perbaikan untuk kompresor torak kecil.

Kompresor dapat dijalankan.	Gejala	Sebab	Perbaikan
	Tekanan tidak dapat naik atau naik terlalu lambat.	Sumbat pembuang air terbuka atau kebocoran dari dudukan	Kencangkan sumbat. Jika masih bocor lebih baik diganti baru
		Bocor melalui packing	Kencangkan sekrup dan baut Ganti packing jika rusak
		Bocor melalui sekrup.	Kencangkan kembali
		Bocor dari katup pengaman.	Katup pengaman diganti baru
		Katup pengaman rusak.	Bersihkan atau gantilah perangkat katup udara. Jika rusak atau bocoran terlalu besar, harus diganti baru.
	Tekanan naik melebihi tekanan maksimum.	Penunjukan manometer tidak benar.	Gantilah dengan yang baru.
		Elemen saringan isap tersumbat kotoran.	Bersihkan dengan sikat atau dengan zat pencuci yang netral. Jika terlalu kotor gantilah dengan yang baru.
		Penyumbatan pada pipa.	Bersihkan bagian dalam pipa.
		Penunjukan manometer tidak benar.	Ganti dengan yang baru.
		Tombol tekanan, katup pengatur tekanan, atau katup pengaman rusak.	Setel, atau gantilah dengan yang baru jika tidak dapat disetel lagi.
	Ada kelainan suara	Pemasangan tidak benar.	Pasanglah secara mendatar. (Pakailah sim jika perlu).
		Motor rusak.	Perbaiki motor di bengkel motor.

Tabel 6.4

	Gejala	Sebab	Perbaikan
Kompresor dapat dijalankan	Ada kelainan suara	Torak menyentuh katup udara	Bersihkan endapan arang dari puncak torak, dan gantilah logam paking.
	Pemakaian minyak terlalu boros.	Cincin torak aus; cacat goresan pada dinding silinder.	Gantilah cincin torak, cincin minyak; ganti atau perbaiki silinder.
	Motor panas melebihi batas.	Kemacetan pada bagian-bagian yang saling meluncur (torak, dsb.).	Ganti dengan yang baru.
Kompresor tidak dapat dijalankan.	Motor tidak mendengung.	Motor rusak	Ganti dengan yang baik.
		Kabel putus.	Ganti dengan yang baru.
		Tombol tekanan rusak.	Ganti dengan yang baru.
		Motor rusak.	Perbaiki di bengkel motor.
	Motor mendengung	Pelindung motor dalam keadaan bekerja.	Tiadakan hal-hal yang menyebabkan pelindung bekerja, kemudian tekan tombol reset.
		Tegangan turun (karena kabel terlalu kecil, dll).	Pakailah kabel yang sesuai ukurannya; cari sebab-sebab lain turunnya tegangan.
		Udara bocor dari katup udara.	Bersihkan endapan arang. Ganti dengan yang baru jika bocoran besar atau pecah.
		Motor rusak	Perbaiki di bengkel motor.

Tabel 6.5 Tindakan Perbaikan untuk kompresor sekrup kecil.

Gejala		Sebab	Perbaikan
Motor tidak dapat dijalankan.	Motor tidak mendengung.	Kabel putus, atau rele temperatur bekerja.	Ganti kabel. Usahakan agar temperatur di sekeliling kompresor tidak terlalu tinggi.
		Tombol magnet rusak	Ganti dengan yang baru.
Motor mendengung.		Terdapat kelainan pada motor	Perbaiki atau ganti
		Tegangan turun	Periksa apakah kapasitas sumber daya terlalu kecil
		Ukuran kabel penyalur terlalu kecil	Ganti dengan kabel yang sesuai ukurannya
		Ada kelainan pada motor.	Perbaiki atau ganti dengan yang baik.
		Kompresor tidak berputar.	Periksa atau bongkar kompresor.
Tekanan keluar rendah.		Pembebas beban, katup kumparan, atau tombol tekanan rusak.	Bongkar, periksa, setel, atau ganti baru.
		Penunjukan manometer tidak benar.	Ganti manometer.
		Pipa bocor.	Kencangkan baut/ulir, atau ganti paking.
		Saringan udara kotor atau tersumbat.	Bersihkan atau ganti.
		Udara bocor dari saringan pengering otomatis.	Kencangkan atau ganti.
Tekanan melebihi batas yang ditentukan.		Pembebas beban, katup kumparan, atau tombol tekanan rusak.	Bongkar, periksa, setel, atau ganti.
		Baut pembebas beban kendur, atau paking rusak.	Kencangkan, atau ganti paking.
		Perapat mekanis rusak	Ganti baru.

Tabel 6.5

Gejala	Sebab	Perbaikan
Katup pengaman terbuka.	Tekanan melebihi batas yang ditentukan.	lihat keterangan di atas
	Katup pengaman salah setel atau rusak.	Setel kembali, perbaiki atau ganti.
	Pembebas beban tidak bekerja dengan baik.	Setel kembali.
Temperatur keluar terlalu tinggi.	Saringan minyak tersumbat.	Bersihkan.
	Katup pengatur temperatur tidak bekerja dengan baik.	Ganti baru.
	Pendingin tersumbat.	Bersihkan.
	Temperatur udara masuk terlalu tinggi atau saringan udara kotor.	Berikan ventilasi yang baik. Bersihkan saringan udara.
Aliran minyak berkurang.	Pipa-pipa alat pembersih minyak tersumbat.	Bersihkan atau ganti pipa-pipa kapiler.
	Elemen pemisah minyak tersumbat kotoran.	Ganti baru.
	Minyak yang dipakai tidak benar.	Ganti dengan yang benar.
Kondisi minyak cepat memburuk.	Temperatur lingkungan terlalu tinggi.	Berikan ventilasi pada ruangan atau ambil tindakan lain yang sesuai.
	Minyak mengandung air.	Periksa lubang isap dan buang airnya.
	Minyak bekas tertinggal.	Lakukan pembilasan pada waktu mengganti minyak.
	Benda asing masuk kompresor.	Bongkar dan perbaiki.
Kelainan bunyi dari dalam kompresor.	Bantalan aus dan rusak.	Bongkar dan ganti bantalan baru.
	Baut atau sekrup lepas	Kencangkan.
Kelainan bunyi yang lain.	Pemasangan tidak benar.	Pasang mendatar dan beri ganjal.
	Sabuk-V selip.	Setel tegangan sabuk atau ganti baru.



## 7.1 Pembebanan Lebih Dan Pemanasan Lebih Pada Motor

### 7.1.1 Pemilihan motor

Jika daya yang diperlukan kompresor lebih besar dari pada kemampuan motor maka motor akan menjadi panas. Hubungan antara masukan dan keluaran daya motor ditunjukkan dalam Gb. 7.1. Kerugian daya motor akan diubah menjadi panas. Panas ini akan menaikkan temperatur motor sampai tercapai keseimbangan antara panas yang timbul dan panas yang terbuang ke udara. Pembuangan panas ini biasanya dibantu dengan kipas pendingin.

Motor listrik yang banyak digunakan biasanya adalah jenis motor induksi. Karakteristik motor ini diberikan dalam Gb. 7.2. Pada umumnya efisiensi maksimum tercapai bila beban dekat pada 100% daya normal. Besarnya putaran pada titik ini dapat dihitung dengan rumus

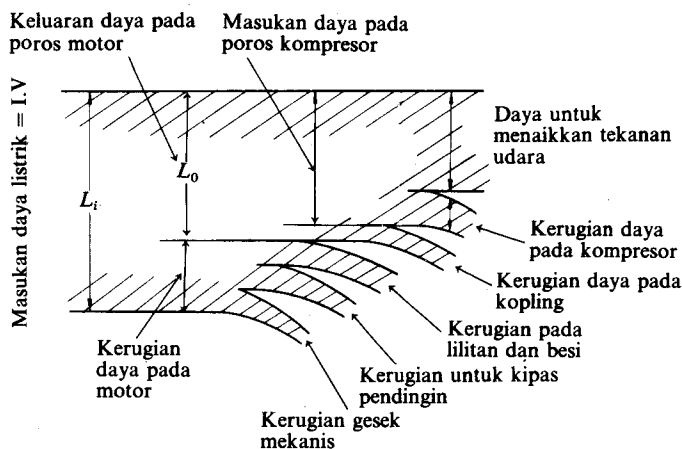
$$N = 60f(1 - \epsilon)/(z/2)$$

di mana  $f$ : Frekuensi sumber listrik (Hz)

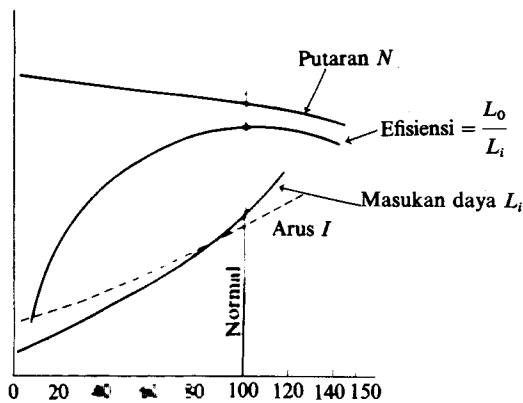
$z$ : Jumlah kutub

$\epsilon$ : Faktor slip (biasanya 2 sampai 3%)

Sebagai misal, jika  $f = 50$  Hz dan  $z = 6$  maka putaran pada beban normal adalah 960 sampai 940 rpm, yang dituliskan di label nama motor. Untuk mengetahui apakah motor mengalami pembebanan lebih atau tidak, dapat diukur arus dan putarannya. Jika putaran kurang dari harga yang dinyatakan dalam label dan arusnya lebih besar maka motor sedang mengalami pembebanan lebih.



Gb. 7.1 Diagram aliran daya dari motor ke kompresor.

Keluaran daya pada poros motor,  $L_0$  (% normal)

Gb. 7.2 Karakteristik motor induksi.

Tabel 7.1 Temperatur kerja konduktor berisolasi.

Kelas	Daerah temperatur (°C)	Bahan isolasi
A	~90	Phenol
	~105	PVC tahan panas
	~120	Polyester
	~130	Polyethylene radiasi
	~155	ETFE, PVdF
	~180	Tahan korona, PTFE
B	~180~	Polyamide + FEP, dll.

Batas maksimum temperatur motor yang diizinkan ditentukan oleh ketahanan terhadap panas dari bahan isolasi lilitan. Temperatur kerja dari bahan isolasi diperlihatkan dalam Tabel 7.1. Perlu dicatat bahwa semakin tinggi temperatur ruangan, semakin rendah kapasitas pembebanan motor. Temperatur lilitan pada waktu beroperasi dapat diukur dari tahanan listriknya.

Tegangan, frekuensi, jumlah fasa, dan daya dari sumber listrik yang akan dipergunakan harus diperiksa apakah sesuai dengan spesifikasi motor.

Momen puntir motor adalah berbanding lurus pada

$$\frac{I \cdot V}{N} \propto \frac{V^2}{N}$$

Misalnya jika tegangan turun sampai menjadi 80% dari harga normalnya, maka momen puntir akan berkurang menjadi  $0,8^2 = 0,64$  kali harga normalnya. Jadi, jika tadinya direncanakan akan dipakai motor dengan 6-kutub tetapi ternyata keliru dengan motor 4-kutub dengan daya yang sama maka momen puntir normalnya menjadi  $4/6 = 2/3$  kali momen puntir yang diperlukan. Dengan demikian pada tekanan normal akan terjadi pembebanan lebih, sehingga kompresor hanya dapat dioperasikan pada tekanan di bawah normal dan momen puntir yang rendah.

Jika dua dari terminal U, V, dan W motor 3-fasa tertukar hubungannya, maka putaran motor akan terbalik. Biasanya putaran yang terbalik pada kompresor torak tidak mudah diketahui. Akibatnya arah tiupan angin dari kipas pendingin menjadi terbalik pula. Juga jika pompa minyak dihubungkan langsung pada poros, maka pelumasan menjadi tidak jalan. Dalam hal kompresor putar, putaran yang terbalik akan mudah diketahui karena udara tidak akan ada yang keluar dari kompresor.

Jika salah satu dari kabel tiga fasa putus, maka motor tidak dapat distart. Motor akan menjadi panas dan sekering akan putus.

### 7.1.2 Slip pada sabuk, putaran terbalik, dan efek roda gaya yang tak cukup

Dalam kompresor torak, jika sabuk slip karena kurang tegangan, motor dapat mengalami pembebanan lebih. Sabuk yang slip mengakibatkan putaran kompresor menurun sehingga efek roda gaya akan berkurang dan momen puntir akan berfluktuasi. Fluktuasi momen puntir ini akan membebani sabuk yang selanjutnya akan membebani motor pula. Karena motor harus bekerja dengan putaran dan momen yang berfluktuasi maka akan menjadi panas. Maka dapat dimengerti bahwa peristiwa ini akan menimbulkan banyak panas karena slip pada sabuk, di mana puli motor dan puli kompresor menjadi panas, sehingga sabuk dapat terbakar. Panas yang timbul pada puli motor dapat merambat ke motor sehingga akan menambah pemanasan.

Gejala yang sama dapat terjadi pula bila momen inersia roda gaya kurang besar. Hal ini akan mengakibatkan fluktuasi yang berlebihan pada momen puntir. Dalam keadaan ini amperemeter yang mengukur arus masuk motor akan menunjukkan harga lebih tinggi dari harga normalnya. Daya yang dikeluarkan motor seringkali masih dalam batas normalnya. Adapun besarnya arus yang terbaca pada amperemeter disebabkan oleh kelambanan penunjukan jarumnya. Berhubung dengan hal tadi, maka ukuran roda gaya harus diambil tidak kurang dari ukuran yang benar.

### 7.1.3 Viskositas minyak pelumas

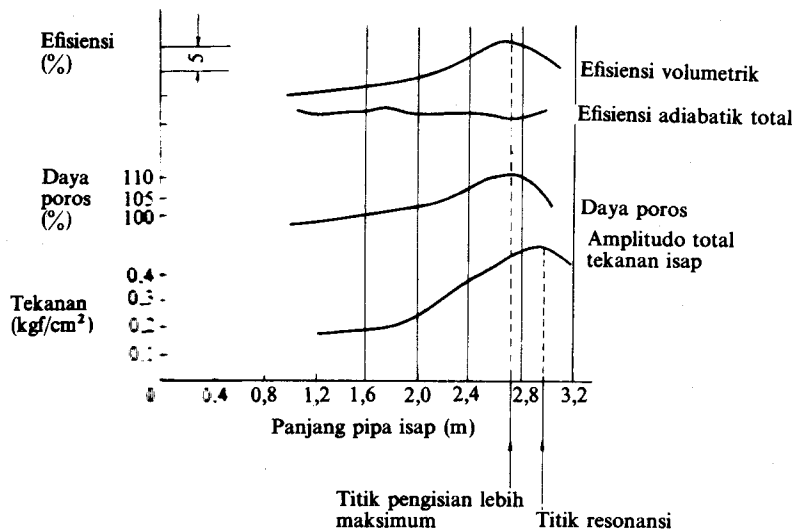
Jika viskositas minyak pelumas terlalu tinggi, tahanan dari bagian-bagian yang saling meluncur pada kompresor akan menjadi besar, sehingga kompresor akan memerlukan daya lebih besar pada putaran normalnya. Hal ini dapat mengakibatkan pembebanan lebih pada motor jika cadangan daya motor yang tersedia terlalu kecil. Juga kompresor yang menggunakan minyak pelumas berviskositas tinggi, jika dibiarkan berhenti untuk jangka waktu cukup lama, pada waktu distart akan terjadi momen awal yang sangat besar. Motor tidak dapat berputar meskipun tombol dinyalakan. Karena itu apabila akan menjalankan kembali kompresor yang sudah lama tidak bekerja, tahanan terhadap putaran harus diperiksa lebih dahulu dengan memutar kompresor dengan tangan. (Lihat Pasal 5.5).

### 7.1.4 Pengisian lebih (supercharging) karena pulsasi tekanan

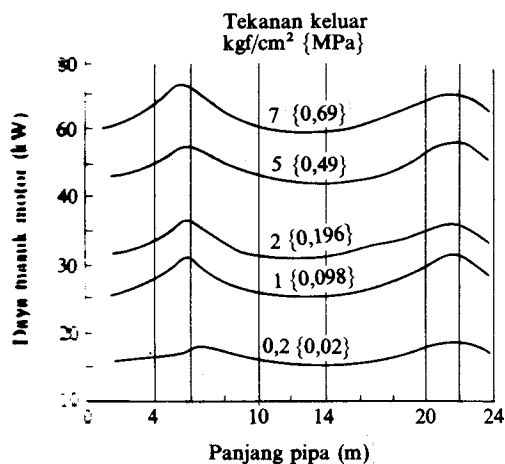
Pulsasi tekanan dapat terjadi dalam pipa-pipa karena pengisapan dan pengeluaran yang terputus pada kompresor torak. Jika frekuensi pribadi kolom udara di dalam pipa isap bertepatan dengan frekuensi langkah pengisapan torak, maka akan terjadi apa yang disebut gejala pengisian lebih (supercharging). Di sini laju volume udara yang diisap bertambah besar sehingga daya yang diperlukan kompresor juga naik. (Lihat butir 5.2.3). Sebagai contoh, Gb. 7.3 menunjukkan perubahan performansi kompresor bila kompresor dioperasikan pada putaran tetap dan tekanan normal di mana panjang pipa isap diubah sedikit demi sedikit. Amplitudo fluktuasi tekanan diukur dengan memasang transduser tekanan jenis strain gage pada kamar isap kompresor. Dalam contoh ini terlihat bahwa amplitudo tekanan mencapai harga maksimum pada panjang pipa 2,8 m, yang berarti sebesar 2,5 kali amplitudo tanpa resonansi. Pada saat tersebut, volume udara maupun daya poros kompresor naik menjadi kurang lebih 110% dari harga normalnya. Ini akan mengakibatkan pembebanan lebih jika motor tidak mempunyai cadangan daya yang cukup.

Gb. 7.4 menunjukkan perubahan daya masuk motor bila panjang pipa keluar diubah, pada kompresor lain. Di sini resonansi terjadi pada panjang pipa 6 m dan 22 m.





Gb. 7.3 Contoh pengisian lebih (supercharging) karena resonansi pipa isap.



Gb. 7.4 Contoh pembebanan lebih karena resonansi pada pipa keluar.

Tabel 7.2 Laju kenaikan masukan motor =  $\frac{\text{Masukan maksimum} - \text{Masukan minimum}}{\text{Masukan minimum}} \times 100 (\%)$

Tekanan keluar (kgf/cm²)	0,2	1,0	2,0	5,0	7,0
Laju kenaikan masukan (%)	52,9	32,6	25,7	13,3	15,3

Pada titik-titik ini diperlukan kerja kompresi yang lebih besar karena fluktuasi tekanan di dalam pipa keluar bertambah besar dan tekanan di dalam ruang keluar (pada langkah pengeluaran) bertambah besar. Jadi jika resonansi terjadi pada pipa keluar, jumlah volume udara yang dihasilkan akan sedikit berkurang sehingga efisiensi kompresor menurun. Tabel 7.2 menunjukkan laju kenaikan daya masuk bila panjang pipa dalam Gb. 7.4 adalah 22 m. Semakin rendah tekanan keluar, semakin besar laju pembebanan

lebihnya. Ini berarti bahwa langkah pengamanan perlu diambil untuk mencegah terjadinya resonansi pada kompresor bertingkat satu dengan perbandingan tekanan yang rendah. Untuk menghitung panjang resonansi pipa, dapat digunakan cara yang diuraikan dalam butir 5.3.2. Untuk menghindari pembebanan lebih pada motor karena resonansi, frekuensi pribadi kolom udara harus diubah dengan mengubah panjang pipa, pemakaian tangki, atau dengan peredam khusus maupun pemasangan orifis pada pipa yang menuju ke tangki udara.

#### **7.1.5 Penyumbatan pada saringan isap dan pipa**

Sebagai saringan isap biasanya digunakan susunan cincin tipis, vinil busa, atau lakan (felt). Tahanan isap pada saringan ini dapat meningkat jika menjadi kotor oleh debu atau benda lain yang terperangkap. Akibatnya volume udara yang diisap akan menurun. Dalam hal demikian daya poros kompresor akan naik pada kompresor yang mempunyai perbandingan tekanan yang rendah, dan turun pada kompresor yang mempunyai perbandingan tekanan yang tinggi. (Lihat Pasal 2.5)

Pada sisi lain, jika pipa keluar terhambat, volume udara akan menurun sedangkan daya poros biasanya bertambah besar.

## **7.2 Pemanasan Lebih Pada Udara Keluar**

### **7.2.1 Kondisi lingkungan dalam ruang kompresor**

Temperatur udara keluar kompresor dapat naik secara menyolok karena pemanasan udara yang diisap dari keliling kompresor. Biasanya temperatur udara luar yang boleh diisap dibatasi sampai 40°C. Namun untuk daerah tropis ada kemungkinan lebih tinggi dari itu. Dalam keadaan tertutupun temperatur dapat melebihi batas, misalnya jika kompresor dipasang di dalam ruangan tanpa ventilasi yang cukup. Jika udara yang diisap naik temperaturnya, maka temperatur udara tekan yang dihasilkanpun akan naik pula. Hal ini akan menjurus pada keadaan pemanasan lebih. (Lihat butir 2.3.2). Temperatur yang tinggi seperti itu akan mempercepat proses karbonisasi minyak pelumas dan menghasilkan karbid. Karbid ini akan menempel pada katup sehingga katup terganggu atau rusak. Peristiwa yang lebih buruk dapat terjadi jika gas yang mengalir balik, karena katup keluar yang pecah, dikompresikan kembali di dalam silinder. Di sini akan terjadi temperatur yang sangat tinggi sehingga torak dapat macet (karena pemuatan). Selain itu, karena tingginya temperatur, benda-benda asing (seperti minyak, endapan karbon, dsb) yang menempel pada sistem pipa keluar serta sistem di belakangnya, dapat terbakar. Karena itu, untuk mengurangi pengaruh buruk dari peristiwa ini, sebaiknya hanya digunakan minyak pelumas yang dianjurkan paberik dan yang sudah dikenal mutunya.

Kompresor yang cukup besar diperlengkapi dengan silinder yang didinginkan dengan air atau pendingin minyak berpendingin air. Kondisi pemanasan lebih akan terjadi bila temperatur air pendingin naik atau aliran air tidak cukup karena tersumbat di selubung silinder atau di pipa pendingin. Dalam operasi harian, pengamatan temperatur udara keluar adalah cara yang paling baik untuk mencegah bahaya pada kompresor.

## **7.3 Katup Pengaman Yang Sering Terbuka**

Katup pengaman yang biasanya dipasang di sisi keluar kompresor adalah sebuah katup pembebas tekanan untuk membatasi tekanan keluar supaya tidak dapat naik

jauh dari tekanan normalnya. Sebelum katup pengaman terbuka, katup pembebas beban yang mengatur kapasitas harus bekerja lebih dahulu apabila tekanan melebihi harga normalnya. Namun jika tekanan kerja pembebas beban ini disetel pada harga yang tinggi, maka tekanan keluar dapat mencapai harga yang tinggi pula di atas normal. Selain itu jika terjadi penyumbatan pada pipa pembebas beban atau kerusakan lain dalam sistem pengatur kapasitas ini, tekanan yang melebihi batas juga dapat dihasilkan.

Kompresor 2-tingkat yang besar mempunyai pendingin antara (intercooler) yang besar volumenya. Karena itu perlu dipasang katup pengaman pada pendingin ini. Jika katup pengaman pada pendingin antara terbuka, ini berarti bahwa volume udara yang masuk ke sisi isap silinder tingkat-2 mengalami penurunan (sedang yang keluar dari tingkat pertama tetap tidak berubah). Hal ini dapat disebabkan oleh keadaan yang tidak normal pada silinder tekanan tinggi (tingkat ke-2) atau pada sistem pembebas bebannya. (Untuk keterangan selanjutnya, lihat prosedur penyetelan pembebas beban).

## 7.4 Bunyi Dan Getaran

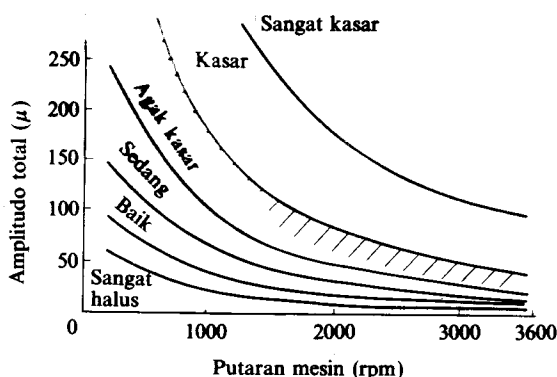
### 7.4.1 Kelonggaran yang berlebihan karena keausan

Jika kelonggaran antara bagian-bagian yang saling meluncur menjadi terlalu besar, maka dapat terjadi bunyi ketukan di dalam kompresor. Bunyi ini berasal dari pukulan karena kelonggaran pada torak dan silinder, bantalan-bantalan pada pen torak, pen engkol, dan poros engkol. Pada bantalan kompresor putar juga dapat terjadi hal yang sama. Jika dalam keadaan ini kompresor dioperasikan terus, keausan akan semakin cepat. Akhirnya bagian-bagian tersebut dapat pecah serta menimbulkan kerugian yang besar. Hal seperti ini juga berlaku untuk getaran.

Jika keausan tiba-tiba meningkat karena kurang pelumasan atau korosi, maka minyak pelumas akan mengandung bubuk logam yang berasal dari permukaan yang aus. Karena itu jika kompresor diperlengkapi dengan saringan minyak pelumas, saringan ini harus diperiksa secara periodik apakah sudah tersumbat oleh benda-benda asing.

### 7.4.2 Pemasangan dan pelurusan

Kompresor torak pada dasarnya selalu bergetar karena gaya inersia dari bagian-bagian yang bergerak bolak-balik seperti torak, dsb. Dalam hal kompresor kecil yang dipasang di atas tangki udara, getaran dapat dicegah dengan penempatan yang stabil di



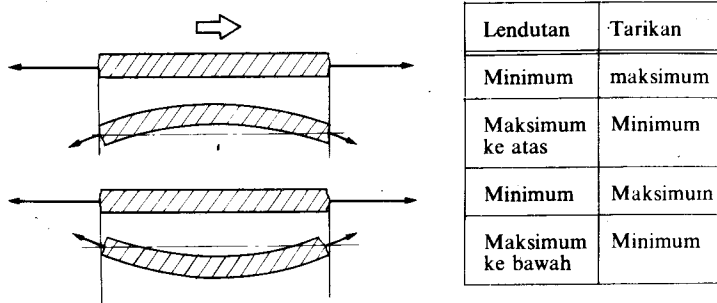
Gb. 7.5 Kriteria amplitudo getaran.

atas tanah atau lantai. Kompresor ini sudah diperhitungkan sedemikian rupa hingga berat kompresor dengan motor dan tangki udara cukup besar untuk menekan getaran sampai batas yang baik. Untuk kompresor berukuran sedang dan besar dengan tangki udara yang terpisah, badan kompresor harus dipasang kokoh pada pondasi beton. Jika kondisi tanah kurang baik, pondasi dapat beresonansi karena kepegasan tanah. Karena itu pondasi harus direncanakan dengan mempertimbangkan gaya eksitasi dan frekuensinya pada kompresor. Juga pondasi harus menjadi tumpuan bersama untuk kompresor maupun motor penggeraknya agar gangguan karena gaya yang terjadi di antara keduanya dapat saling meniadakan.

Pada umumnya getaran hampir tidak berubah meskipun kondisi beban kompresor berubah-ubah, asal putaran kompresor dijaga tetap. Standar penilaian pada getaran mesin-mesin yang umum diberikan dalam Gb. 7.5.

#### 7.4.3 Getaran sabuk dan fluktuasi momen puntir

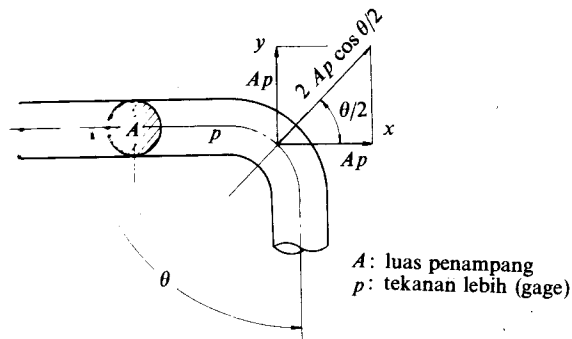
Sering kali getaran sabuk pada kompresor torak menimbulkan beberapa masalah. Getaran ini terjadi jika fluktuasi tegangan sabuk yang berputar menjadi berlebihan karena fluktuasi momen puntir kompresor (Gb. 7.6). Untuk mencegah gangguan ini, harus dipergunakan roda gaya yang cukup besar guna mengurangi fluktuasi momen puntir, atau tegangan sabuk ditambah secukupnya untuk mengurangi perbandingan fluktuasi tegangan sabuk. (Perbandingan fluktuasi tegangan = amplitudo fluktuasi tegangan/tegangan rata-rata). Jika tegangan sabuk tidak dapat ditambah karena batas kekuatan bantalan, maka panjang sabuk dapat dikurangi untuk mencegah resonansi getaran lateral pada sabuk. Pada kompresor putar yang berputaran tinggi, getaran adalah disebabkan oleh ketidakseimbangan atau ketidaklurusan kopling antara motor dan rotor. Juga bila mengganti kopling atau puli atau mengubah letak pasak, keadaan eksentrik dan tak seimbang harus dihindari. Keadaan eksentrik pada puli juga dapat memperbesar getaran sabuk.



Gb. 7.6 Getaran sabuk karena fluktuasi pada gaya tarik sabuk (getaran lateral mudah terjadi pada 1/2 perioda fluktuasi tarikan).

#### 7.4.4 Getaran pipa

Seperti telah diuraikan dalam butir 7.1.3, kompresor torak mudah bergetar karena denyutan tekanan di dalam pipa isap dan pipa keluar. Untuk mencegah getaran pada pipa, resonansi getaran kolom udara maupun resonansi getaran mekanis struktur pipa harus dihindari. Getaran struktur dapat dicegah dengan memperkuat atau menambah jumlah tumpuan pipa.



Gb. 7.7 Gaya karena tekanan dalam pada tikungan pipa.

Karena tekanan dalam pipa sendiri, maka gaya  $Ap$  akan bekerja dalam arah  $x$  dan  $y$ , sehingga dihasilkan gaya resultan  $2 Ap \cos \theta/2$ . Jadi jika  $\theta = 90^\circ$ , maka gaya resultan yang terjadi adalah sebesar  $2 Ap$ . Karena itu jika tekanan dalam  $p$  berfluktuasi, maka gaya resultan ini akan berubah-ubah sehingga getaran akan terjadi.

Jika tekanan dalam pipa berfluktuasi, gaya eksitasi dapat terjadi pada belokan atau perubahan penampang, seperti diperlihatkan dalam Gb. 7.7. Karena perubahan laju aliran di dalam kompresor terjadi menurut bentuk gelombang segitiga (dan bukan gelombang sinusoidal), maka denyutan tekanan di dalam pipa akan mempunyai komponen frekuensi kurang lebih sebesar 1, 2, 3, ... 6 kali frekuensi aliran keluar. Karena itu manometer atau katup reduksi tekanan pada pipa sering kali bergetar dengan frekuensi tinggi. Jika pipa keluar bergetar dengan gerakan bergeser pada tumpuannya, pipa akan aus dan bocor.

## 7.5 Korosi

Seperti disinggung dalam butir 2.1.4, jika udara yang diisap dari atmosfer dimampatkan dan didinginkan, maka uap air yang terkandung akan mengembun. Air dari pengembunan ini akan menimbulkan korosi. Bagian-bagian yang dapat terkena korosi adalah tangki udara, ruang pengeluaran udara dari kompresor, pendingin antara, dan pembebas beban. Untuk menghindari berbaliknya aliran air yang mengembun dari sisi keluar, kompresor harus dilengkapi dengan katup cegah atau tangki dengan perangkap air otomatis dekat setelah sisi keluar kompresor. Sebagai tambahan, bahan harus dipilih secara tepat dan cara-cara penurunan kelembaban harus ditentukan pada waktu instalasi direncanakan. Bila tidak dilakukan, korosi akan terjadi pada kondisi-kondisi yang tidak normal.

Korosi dapat timbul menurut berbagai kondisi seperti berikut ini.

- (1) Kandungan bahan korosiv dalam udara isap

Jika udara yang diisap mengandung  $\text{CO}_2$ ,  $\text{SO}_2$ ,  $\text{NH}_3$ , dsb., maka korosi akan terjadi karena zat-zat tersebut akan membentuk  $\text{H}_2\text{CO}_3$ ,  $\text{H}_2\text{SO}_3$ ,  $\text{NH}_4\text{OH}$ , dsb.

- (2) Perembesan air laut

Air laut yang dipakai sebagai pendingin minyak dapat merembes melalui paking.

- (3) Minyak pelumas yang memburuk

Jika minyak pelumas di dalam kotak engkol memburuk dan kandungan asamnya meningkat, maka bahan-bahan yang mengandung Cu akan kena korosi. Pada waktu

mengganti minyak pelumas, harus dilakukan pembilasan lebih dahulu sebelum minyak yang baru dimasukkan. Jika minyak yang lama masih tersisa, minyak yang baru akan cepat memburuk.

(4) Pemburukan minyak dalam bahan tembaga

Jika pipa tembaga dipergunakan pada pendingin minyak dari kompresor sekrup dengan injeksi minyak, maka minyak akan cepat memburuk sebab tembaga merupakan katalis. Jadi lebih baik dipergunakan bahan aluminium.

(5) Hal khusus

Sabuk-V dari karet akan mengalami retak-retak dalam waktu singkat dalam lingkungan ozon ( $O_3$ ) untuk sterilisasi. Jadi sabuk karet harus dipasang di luar ruang yang mengandung ozon.

**MILIK**

Badan Perpustakaan  
Propinsi Jawa Timur